INSTRUMENTACIÓN BÁSICA DE PROCESOS INDUSTRIALES

DOCENTE
MARCELO SEPULVEDA ITURRIETA

DINPROSOLUTION EN FACEBOOK Y YOUTUBE

TEMARIO

1. Introducción.

- La Instrumentación como factor de aumento de calidad y eficiencia en la producción.
- Seguridad.
- Exactitud y precisión.
- Errores de medición.
- Calibración.
- Hojas de especificación de instrumentos.

2. Simbología ISA

- Diagramas de tubería e instrumentación.
- Nomenclatura.
- Terminología.
- Diagramas funcionales de instrumentación.
- Índice de instrumentos.

3. Medición de temperatura.

- Generalidades.
- Unidades.
- Termómetros clínicos industriales, sistemas llenos, termopares, elementos de resistencia, termistores, termopozos.
- Instalación.
- Patrones y tablas.
- Aplicaciones.

4. Medición de presión

- Generalidades.
- Unidades.
- Tipos de sensores.
- Tipos de medidores.
- Normas.
- Instalación.
- Aplicaciones.

5. Medición de nivel.

- Tanques atmosféricos.
- Recipientes a presión.
- Tipos de sensores.
- Aplicaciones.

6. Medición de flujo.

- Importancia de la medición de flujo de fluidos.
- Unidades.
- Diferentes principios para la medición de flujo.
- Aplicaciones.
- Instalación.

7. Mediciones analíticas

- Cromatografía de gases
- Analizador de infrarrojo
- Analizador de oxígeno

8. Equipos auxiliares.

- Transmisores.
- Indicadores.
- Registradores.
- Convertidores.
- Transductores.
- Interruptores.
- Buses de campo.
- Clasificación de áreas.

9. Elementos finales de control.

- Introducción.
- Características de control.
- Tipos de válvulas de control.
- Actuadores.
- Posicionadores.
- Variadores de velocidad
- Servomotores

10. Introducción al control automático.

- Introducción.
- Jerarquía de control.
- Terminología de control automático.
- Lazo abierto y lazo cerrado.
- Disturbios.
- Parámetros de estabilidad.
- Modos de control: dos posiciones, proporcional, integral y derivativo.
- Sintonización de controladores.
- Teoría moderna de control.

Proceso continuo y proceso batch

- Proceso Continuo
  - El material es introducido y removido del proceso al mismo tiempo y el proceso una vez iniciado, no para (Reacciones químicas, destilaciones, separaciones, etc).
- Proceso Batch
  - El material se agrega a un contenedor; algún proceso se lleva a cabo; el producto es removido y se sigue una secuencia que puede parar o reiniciarse (Bebidas alcoholicas, productos alimenticios, etc).

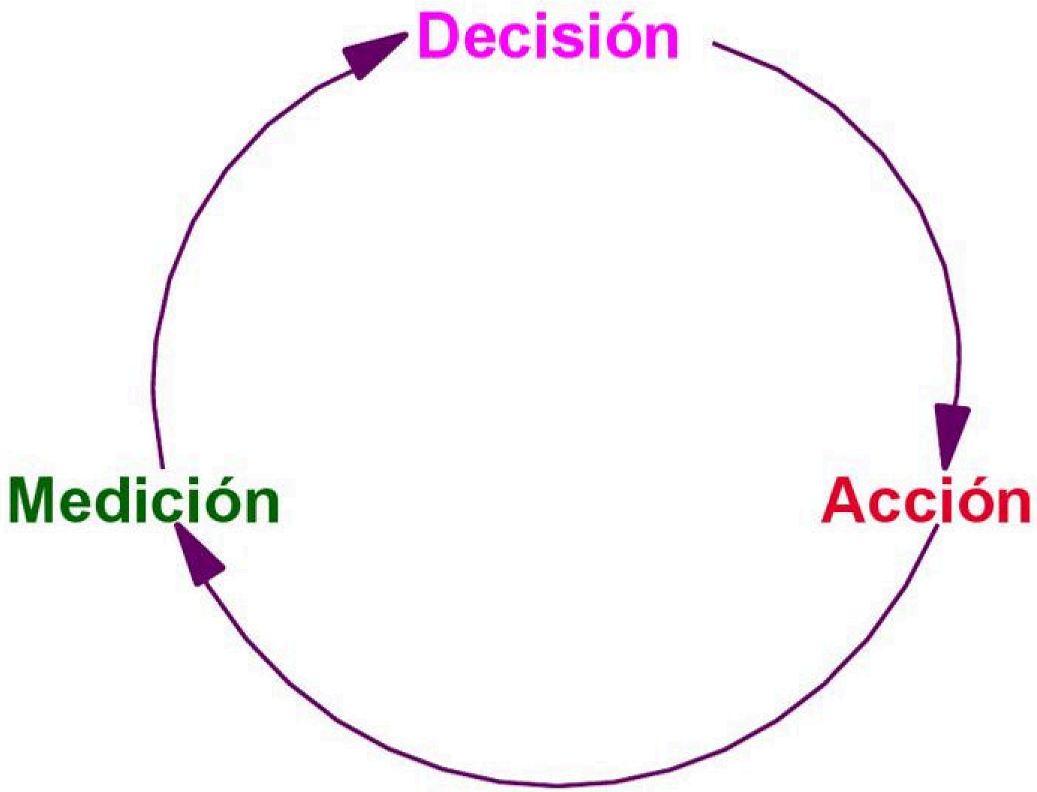
Sistema

Conjunto de elementos ordenados que cumplen un objetivo, y uno solo de estos elementos no puede cumplir, por si solo, el trabajo de todo el sistema.

Control

Acción o conjunto de acciones que buscan conformar una magnitud variable, o conjunto de magnitudes variables, en un patrón determinado.

Esquema general de control



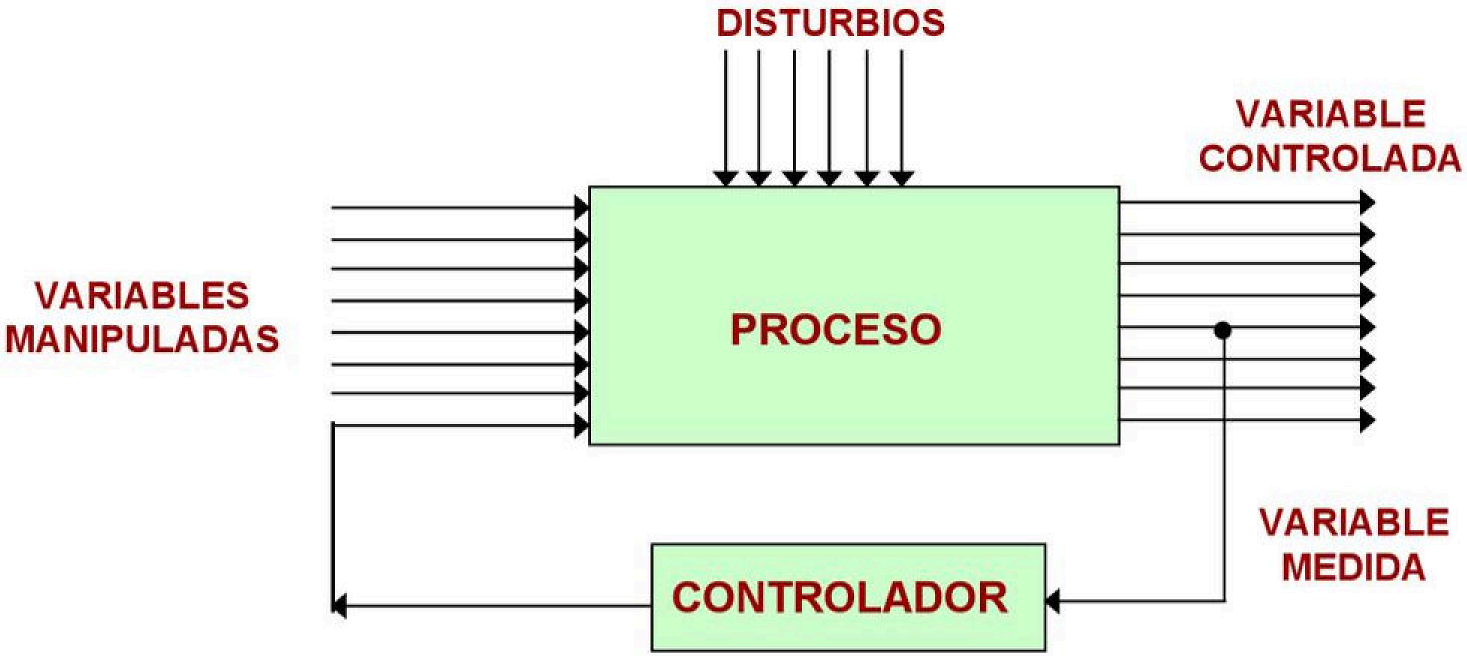
Decisión

Acción

Medición

Control de procesos

- La ***regulación o manipulación de variables*** que influencian en el comportamiento de un proceso de una forma determinada para obtener un producto con una calidad y una cantidad deseadas de una manera eficiente

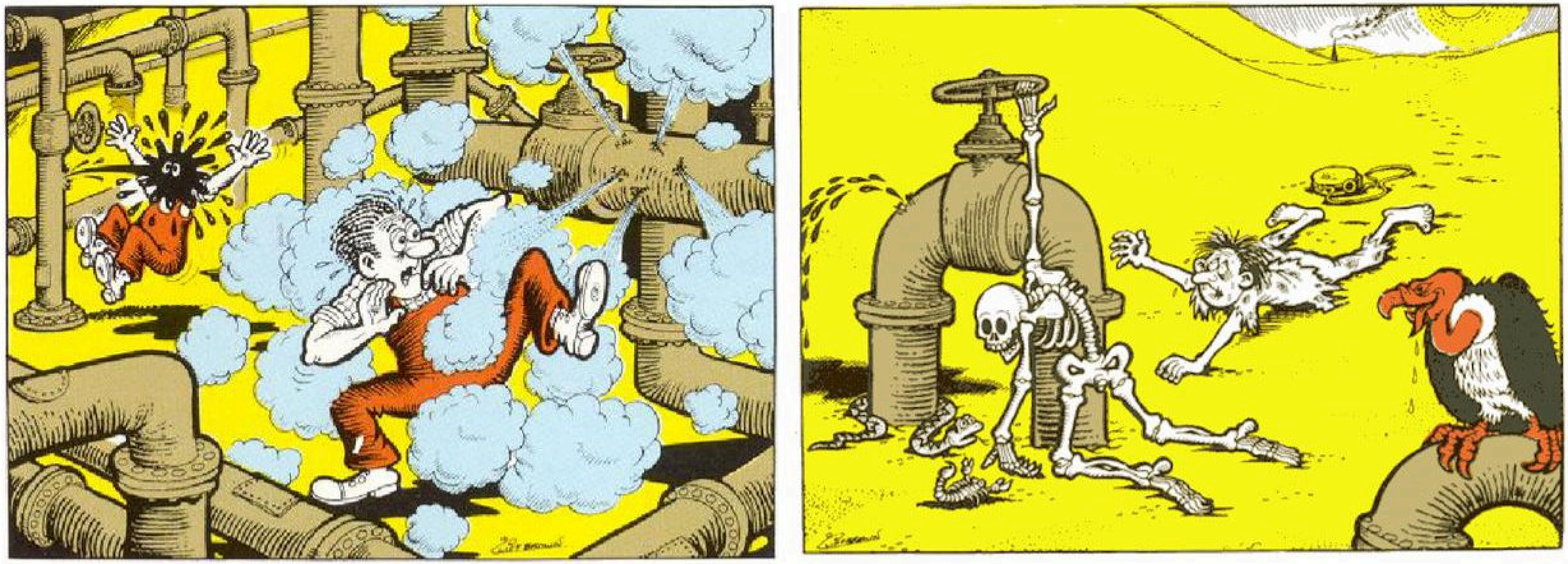

DISTURBIOS
VARIABLE CONTROLADA
VARIABLES MANIPULADAS
PROCESO
VARIABLE MEDIDA
CONTROLADOR

Razones de control

- Seguridad
- Estabilidad
- Optimización
- Protección ambiental

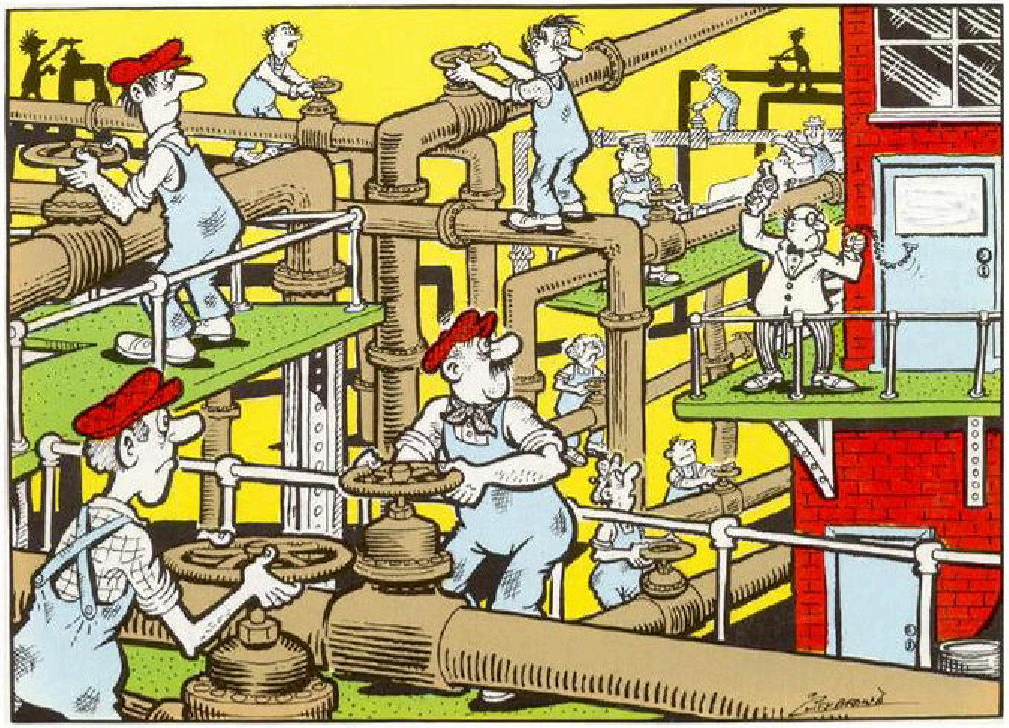
Seguridad

Preservar bajo cualquier condición la integridad del personal y equipo involucrado en la operación de los procesos.



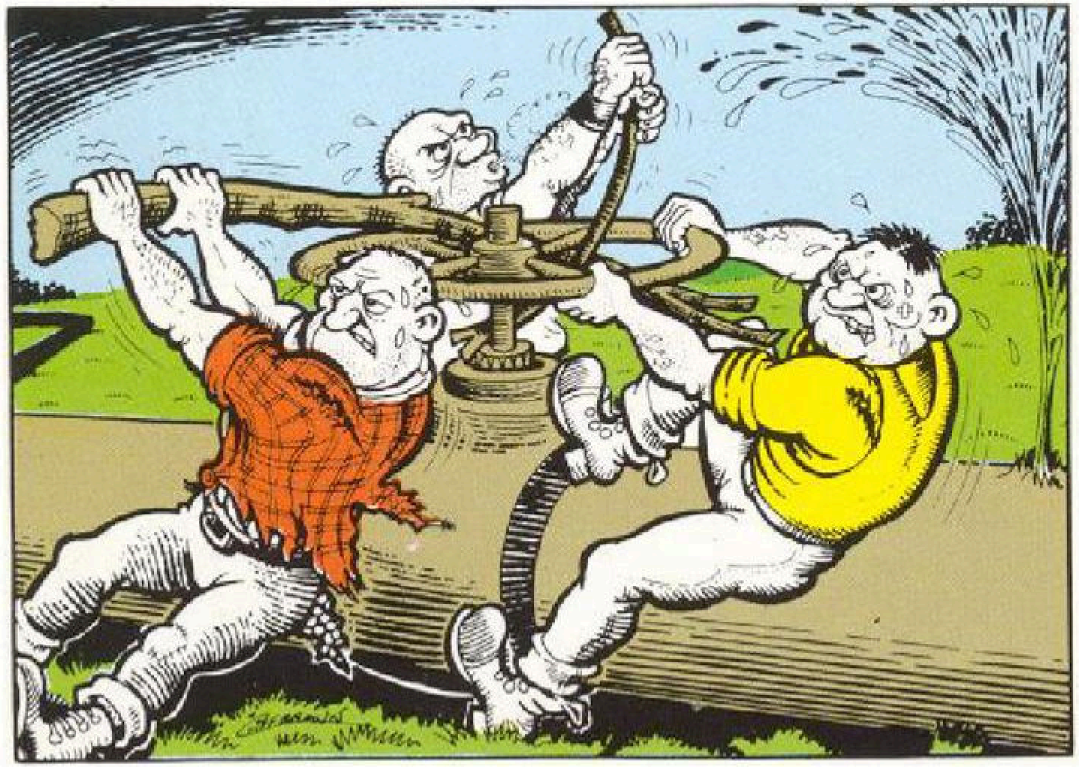
Estabilidad

Asegurar las condiciones de operación de los procesos, para mantener en forma continua la calidad de los productos, dentro de los límites especificados.



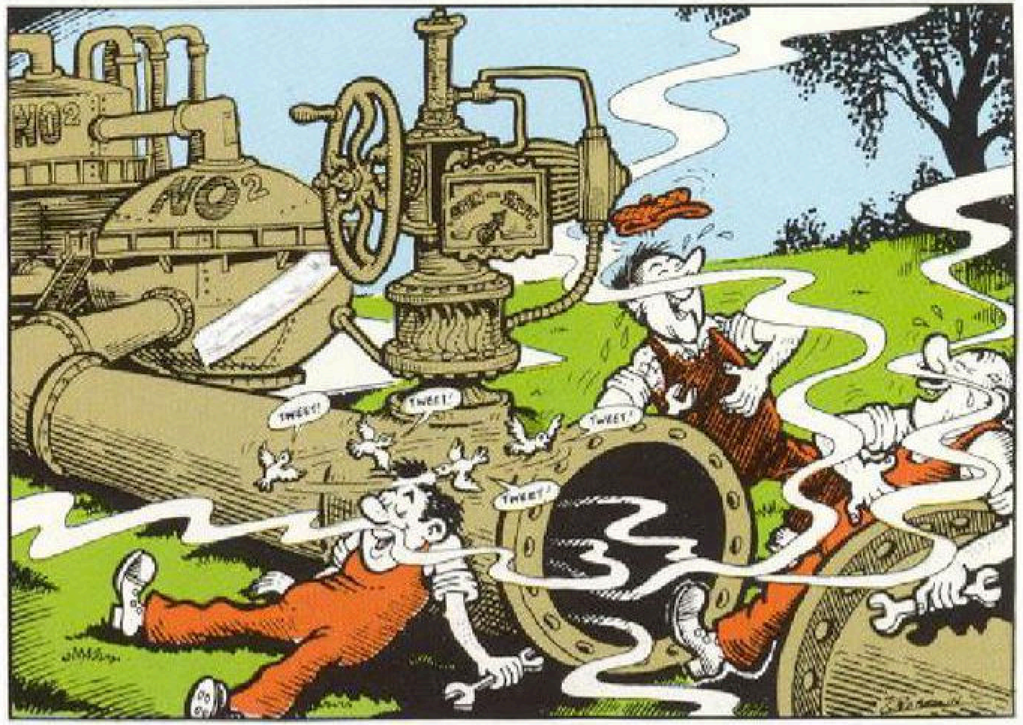
Optimización

Asegurar el máximo beneficio económico en la operación de los procesos.

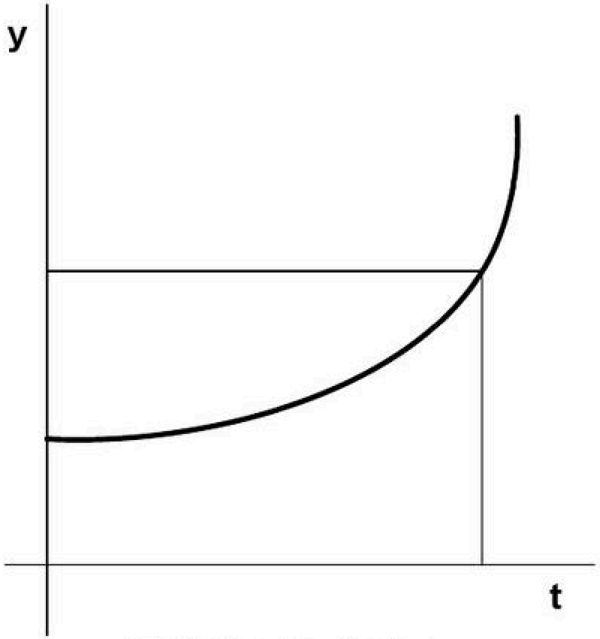


Protección ambiental

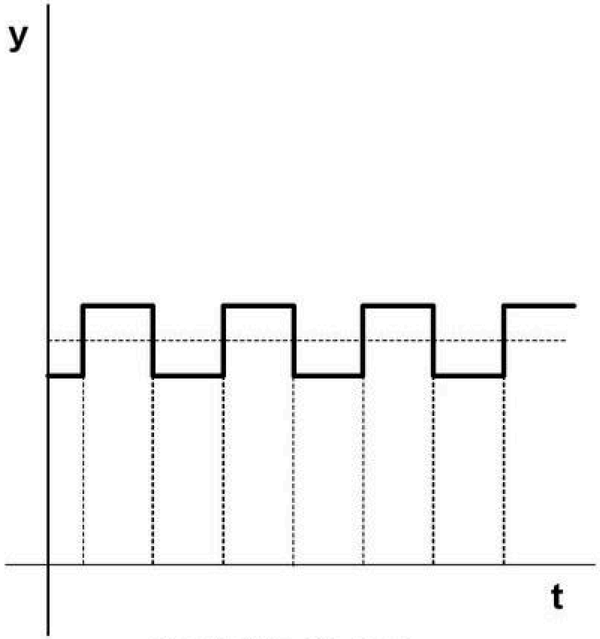
Reducir a su mínima expresión el impacto ecológico de los efluentes del proceso, para cumplir con todas las normatividades aplicables.


NO2
NO2
TWEET!
TWEET!
TWEET!
TWEET!

Tipos de variables



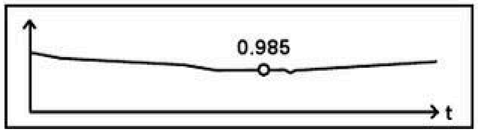
Variable Analógica



Variable Digital

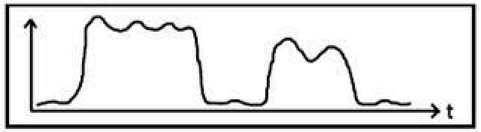
TIPOS DE VARIABLES DE ACUERDO A SU COMPORTAMIENTO EN EL TIEMPO

Señal analógica



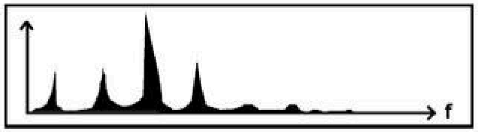
DC

Temperatura
Presión
Flujo
Esfuerzo



Dominio del tiempo

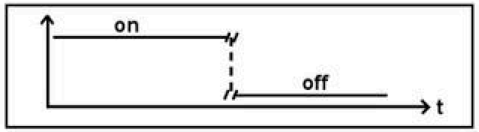
ECG
Presión de sangre
Transientes
Cromatografía



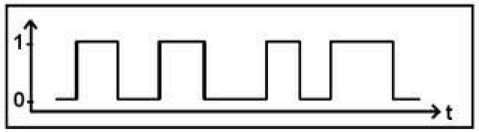
Dominio de la frecuencia

Vibración
Voz
Sonar

Señal digital



Señal On-Off



Tren de pulsos

Entrada:
Cierre o apertura de un interruptor

Salida:
Abre o cierra una válvula

Entrada:
Lectura de un encoder

Salida:
Mueve un motor a pasos

Metrología

La metrología es la ciencia de las medidas, cuyo estudio comprende los patrones, las magnitudes y los sistemas de unidades.

La metrología estudia la fiabilidad de la relación establecida entre cualquier magnitud y su patrón.

***La medición** es el "proceso por el cual se asignan números o símbolos a atributos de entidades del mundo real de tal forma que los describa de acuerdo con reglas o patrones claramente definidos" [Fenton y Pfleeger, 1997].

*Fenton, N.E. y Pfleeger, S.L., *Software metrics. A rigurous and practical approach*, PWS Pub, 1997

Magnitud o Cantidad

Atributo de un fenómeno, cuerpo o sustancia que puede ser distinguido cualitativamente y determinado cuantitativamente. Ejemplos de magnitudes:

Básicas: Longitud, masa, tiempo.

Derivadas: Velocidad, calor, área.

Particulares: Concentración de etanol, resistencia eléctrica de un cable, Calorías que aporta un alimento.

Unidades de medida

Magnitud	Representación dimensional	Unidades SI
Masa	M	Kg
Longitud	L	m
Tiempo	t	s
Temperatura	T	K
Velocidad	Lt^{-1}	m/s
Aceleración	Lt^{-2}	m/s^2
Fuerza	ML^2t^{-2}	N(Kg.m/s2)
Area	L^2	m^2
Volumen	L^3	m^3
Presión	$FL^2=ML^{-1}t^{-2}$	$Pa(N/m^2)$
Densidad	ML^{-3}	Kg/m^3
Energía	FL	$J\ (Kg/m/s^2)$
Potencia	$FL/t=ML^{-1}t^{-3}$	$W\ (Kg/m/s^3)$
Energía interna u	$FL/M=M^2L^{-2}$	J/Kg (N-m/Kg)
Viscosidad	$ML^{-1}t^{-1}$	Kg/m/s

Magnitudes fundamentales

Magnitudes derivadas

Rango y Span

- Rango.- Región entre los límites en los cuáles una cantidad es medida, recibida o transmitida, expresada al establecer los valores de rango mínimos y máximos.
- LRV (Valor de rango mínimo).- El valor mínimo de la variable medida que un dispositivo esta ajustado para medir.
- URV (valor de rango máximo).- El valor máximo de la variable medida que un dispositivo esta ajustado para medir.
- Span.- Diferencia algebraica entre los valores máximo y mínimo.

Rango de las variables medidas

RANGOS TÍPICOS	TIPO DE RANGO	RANGO	VALOR BAJO DEL RANGO	VALOR ALTO DE RANGO	SPAN
TERMOPAR K	VARIABLE MEDIDA	0 A 2000 °F	0 °F	2000 °F	2000 °F
	SEÑAL ELÉCTRICA	-0-68 A 44.91 mV	-0.68 mV.	+ 44.91 mV.	+ 5.556 mV.
MEDIDOR DE FLUJO	VARIABLE MEDIDA	0 A 10,000 LB/HR	0 LB/HR	10,000 LB/HR	10,000 LB/HR
TACOMETRO	VARIABLE MEDIDA	0 A 500 RPM	0 RPM	500 RPM	500 RPM
	SEÑAL ELÉCTRICA	0 A 5 V.	0 V.	5 V.	5 V.
PRESIÓN DIFERENCIAL	VARIABLE MEDIDA	10 A 100 “H_2O	10 “H_2O	100 “H_2O	90 “H_2O
	SEÑAL ELÉCTRICA	4 A 20 mA. C.D.	4 mA. C.D.	20 mA. C.D.	16 mA. C.D.

Ejemplo de rango de variables medidas

¿Cual será la señal en mA. que entrega un transmisor de presión que mide 32.3 Kg/cm^2 en un rango calibrado de 0-70 Kg/cm^2, si el transmisor entrega su señal en un rango de 4-20 mA. C.D.?

Medición

Algunos de los factores que afectan la medición son:

- La exactitud,
- La precisión,
- La resolución,
- La repetibilidad,
- La reproducibilidad,
- La linealidad,
- La histéresis
-
- El error
- La incertidumbre.

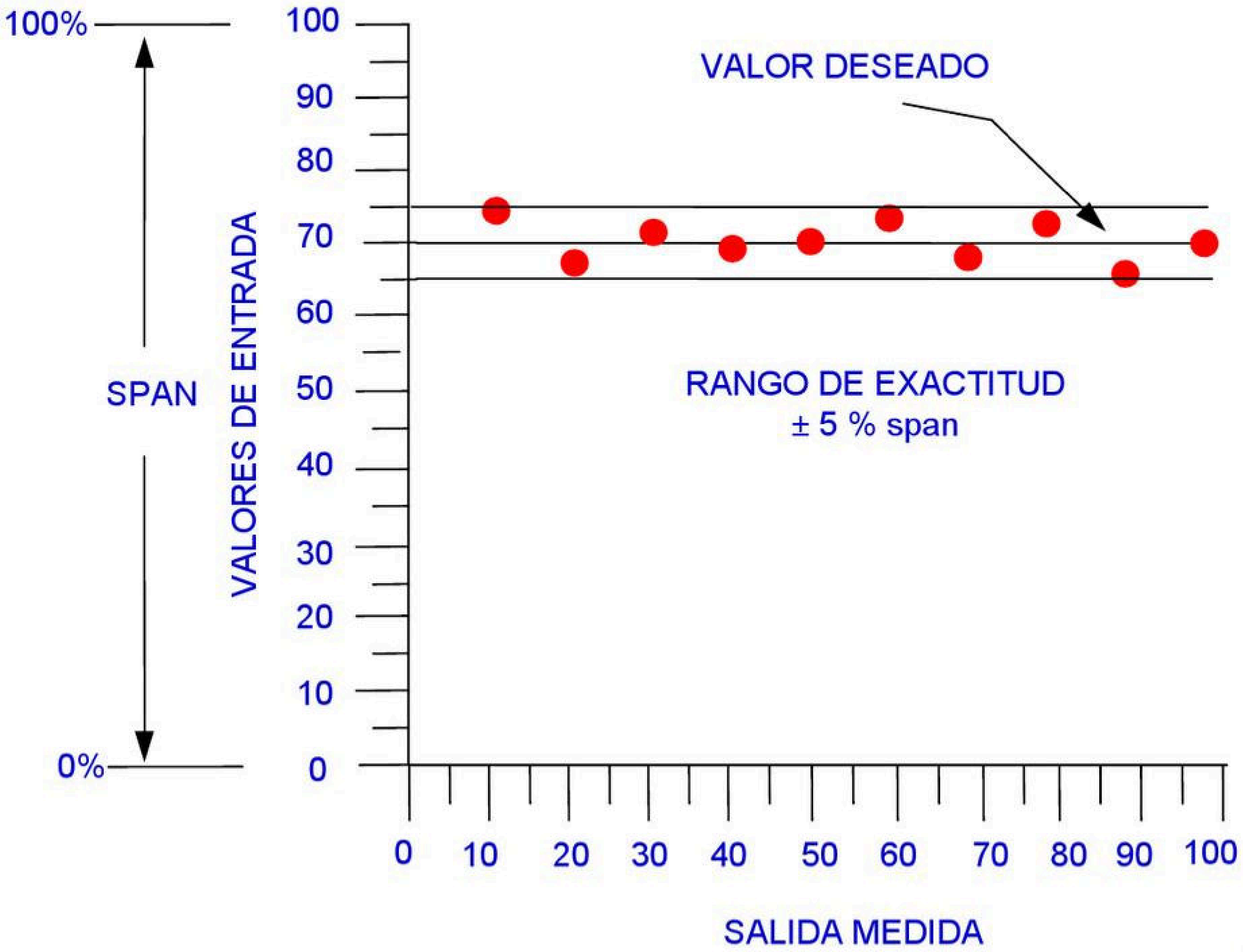
Exactitud de la medición

**La exactitud de la medición es la concordancia entre un valor obtenido experimentalmente y el valor de referencia. Es función de la repetibilidad y de la calibración del instrumento.

La precisión es el grado de concordancia entre una serie de determinaciones obtenidas de repetir la medición y se expresa como la desviación estándar relativa o el coeficiente de variación.Es función de la repetibilidad y la reproducibilidad.

La resolución de un instrumento es el mínimo valor confiable que puede ser medido en un instrumento.

Exactitud de la medición

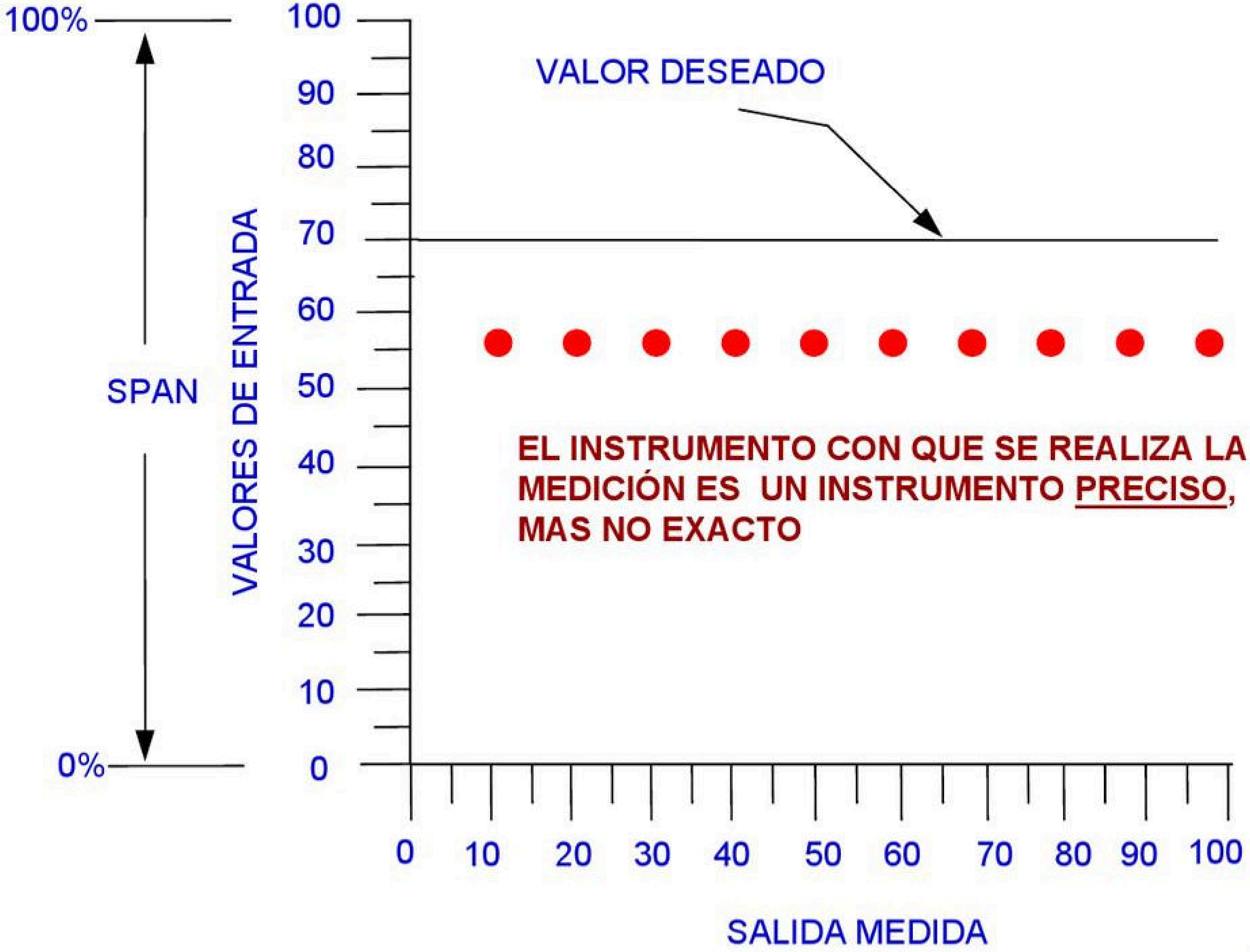


Repetibilidad y Reproducibilidad

La repetibilidad es la precisión de resultados de medición expresado como la concordancia entre determinaciones o mediciones independientes realizada bajo las mismas condiciones (operador, tiempo, aparato, lugar, método, etc).

Reproducibilidad de la medición es la precisión de resultados de medición expresado como la concordancia entre determinaciones independientes realizadas bajo diferentes condiciones (operador, tiempo, aparato, lugar, método, etc).

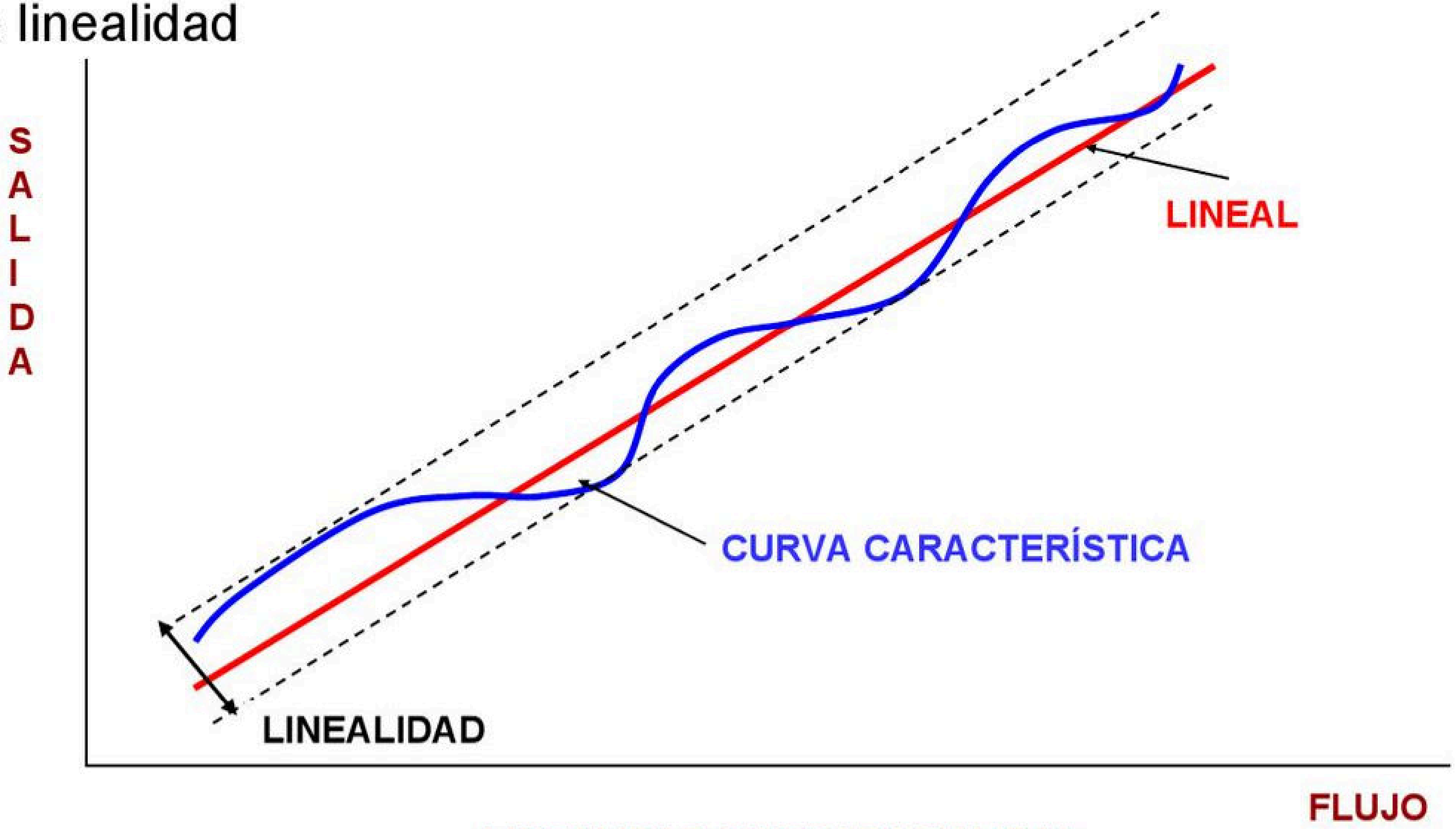
Repetibilidad y Reproducibilidad



EL INSTRUMENTO CON QUE SE REALIZA LA MEDICIÓN ES UN INSTRUMENTO PRECISO, MAS NO EXACTO

Linealidad

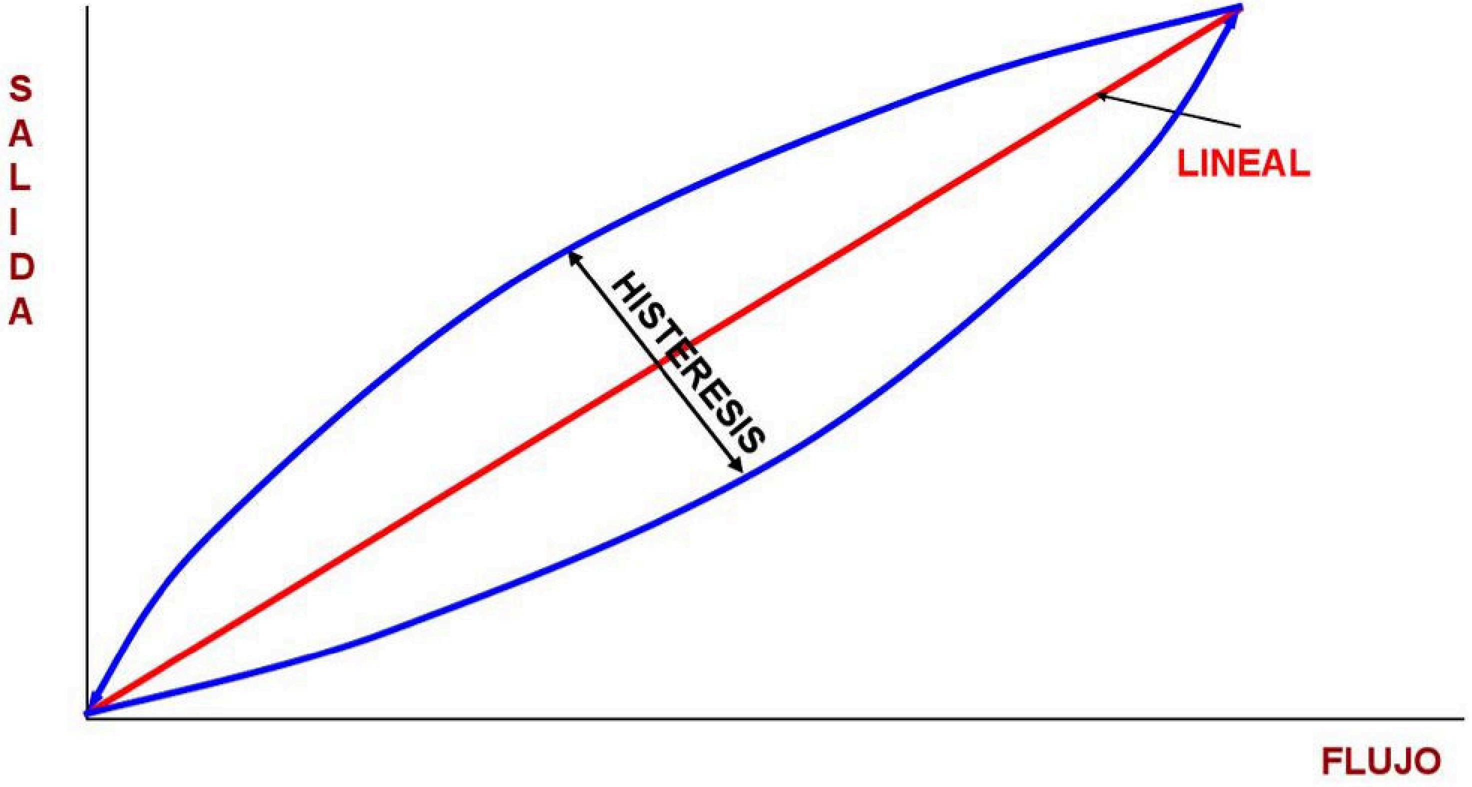
Se define como la cercania con la cual una curva se aproxima a una línea recta. La linealidad es usuamente medida como una no linealidad y expresada como linealidad. Hoy en día algunos instrumentos tienen un ajuste de linealidad


S
A
L
I
D
A
LINEAL
CURVA CARACTERÍSTICA
LINEALIDAD
FLUJO

LINEALIDAD (ENTRADA/SALIDA)

Histéresis

Es la medida de la diferencia en respuesta de un dispositivo o sistema al incrementar la señal de entrada de un valor mínimo a un valor máximo y, con respecto a cuando se decrementa de un máximo a un mínimo sobre el mismo rango.


SALIDA
LINEAL
HISTERESIS
FLUJO

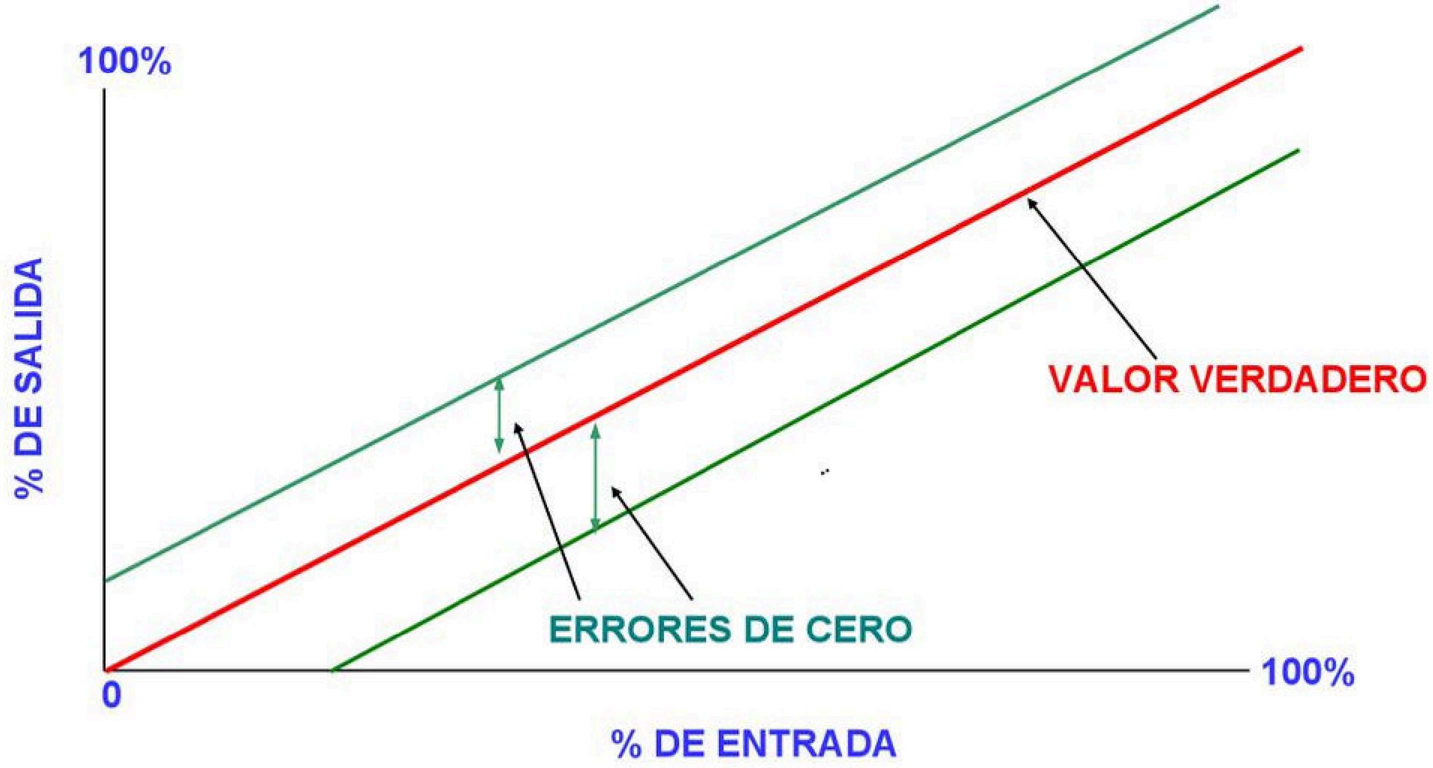
Error

Diferencia algebráica entre los valores indicados y los valores verdaderos de la variable medida. Existen diferentes tipos de errores:

- Error de span
- Error de cero
- Error de linealización

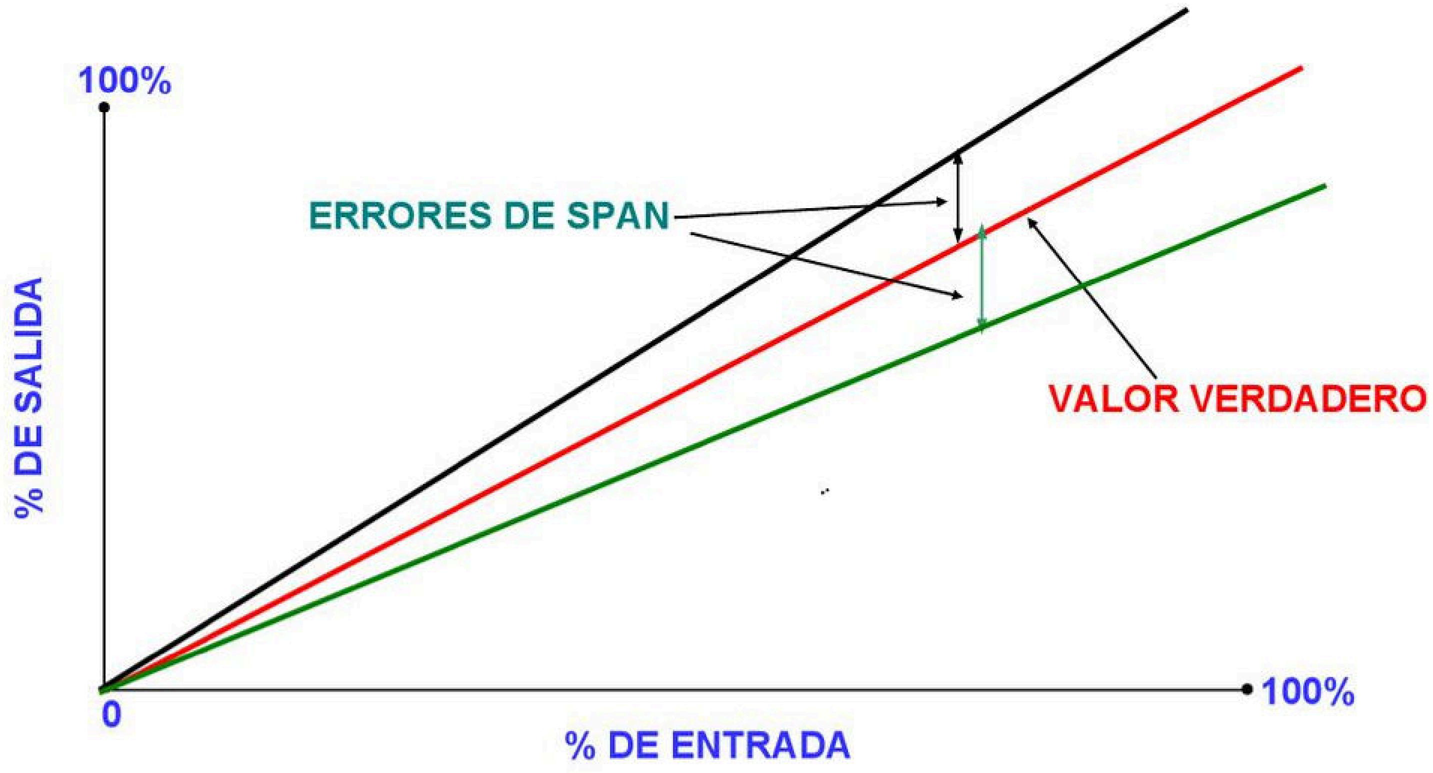
Error de cero

Un instrumento tiene un error de cero cuando todas las indicaciones del instrumento son consistentemente altos o consistentemente bajos a través del rango completo del instrumento cuando es comparado con la salida deseada.

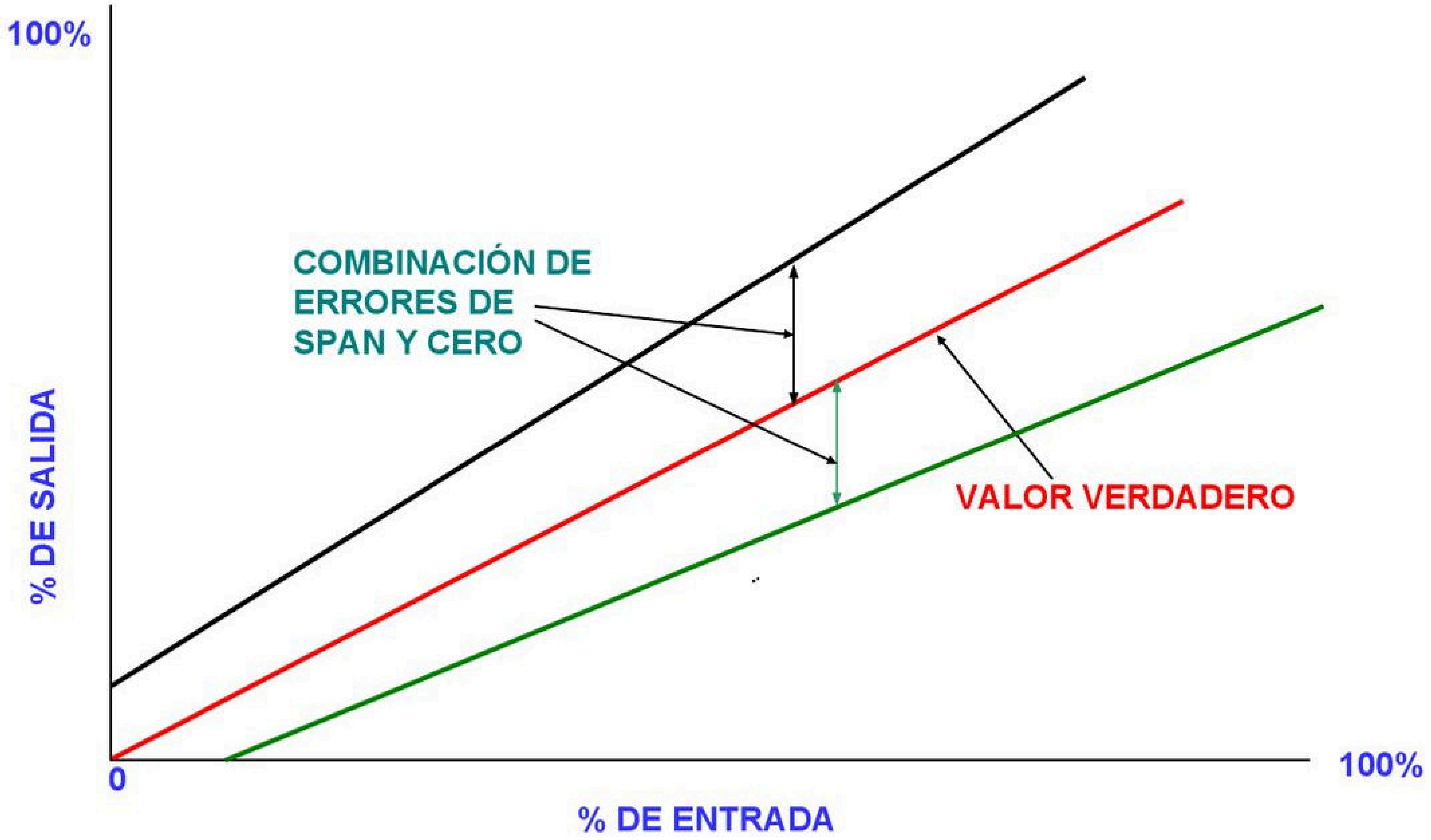


Error de Span

En el error de span, la desviación del valor ideal varía en diferentes puntos a lo largo del rango del instrumento. Normalmente se incrementa, cuando la señal de entrada se incrementa.

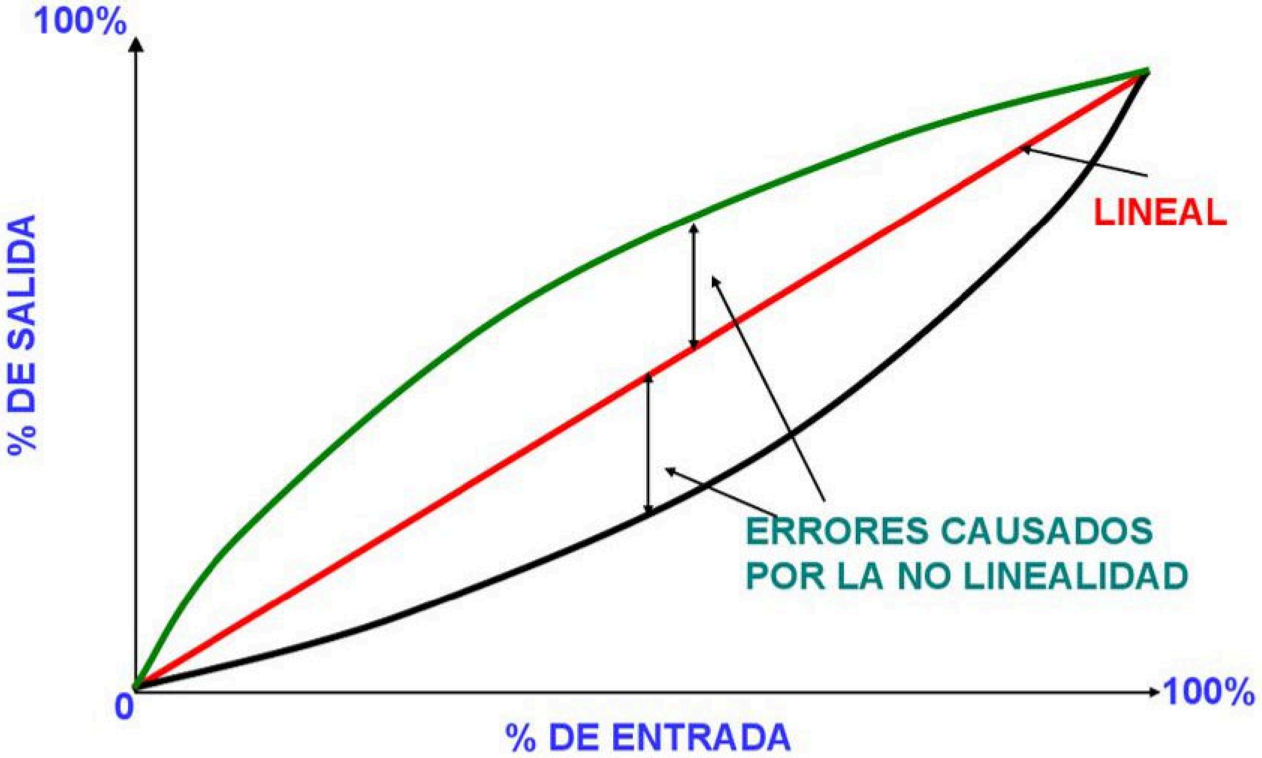


Errores de Span y de Cero combinados



Error de linealidad

Es cuando el resultado de la salida no presenta una línea recta con respecto al valor de entrada. El error de no linealidad puede ser corregido durante la calibración si el instrumento tiene un ajuste de no linealidad. Generalmente se recomienda tomar 5 puntos.



Especificación de características de un instrumento

Un instrumento de medición es un dispositivo empleado para efectuar mediciones por si solo o como integrante de otro equipo o sistema. Las características metrológicas de un instrumento están definidas en función de los factores que afectan su medición, como ejemplo:

Exactitud : ± 0.2% de span calibrado. Aquí se incluye efectos combinados de lo siguiente:

- Repetibilidad : ± 0.05% de span calibrado
- Linealidad : ± 0.1% de span calibrado
- Histéresis : ± 0.05% de span calibrado

CONTROLADOR DIFUSO
IMPCICO1
8.8.8.
8.8.8.

- Ciencias exactas.
- Respuesta a cuestiones planteadas por la ciencia.
- Investigación científica.
- Manufactura.
- Control de calidad.
- Inspección y vigilancia.
- Técnica.
- Forma parte del ciclo de mejora continua del sistema de administración de la calidad.
- Es un pilar que soporta la calidad.

- Con la finalidad de evaluar su eficiencia.
- Poder comparar mediciones con patrones de referencia.
- Poderse comparar con otros laboratorios.
- Interpretar resultados de la ciencia, la ingeniería, el comercio, la industria.
- Tener un criterio objetivo para adquisición de equipo.
- Seleccionar el equipo adecuado para un proceso de medición específico.
- Comprender reglamentaciones oficiales.

- Anteriormente: error y análisis de errores.
- El error es el resultado de una medida menos el valor verdadero del mensurando.

- Actualmente: Incertidumbre.
- La incertidumbre refleja la imposibilidad de conocer el valor del mensurando y corresponde a la duda del resultado de la medición, aún cuando sean eliminados los errores detectados.

Incertidumbre de la Medición

Parámetro asociado al resultado de una medición que caracteriza la dispersión de los valores, que podrían razonablemente ser atribuídos al mensurando.

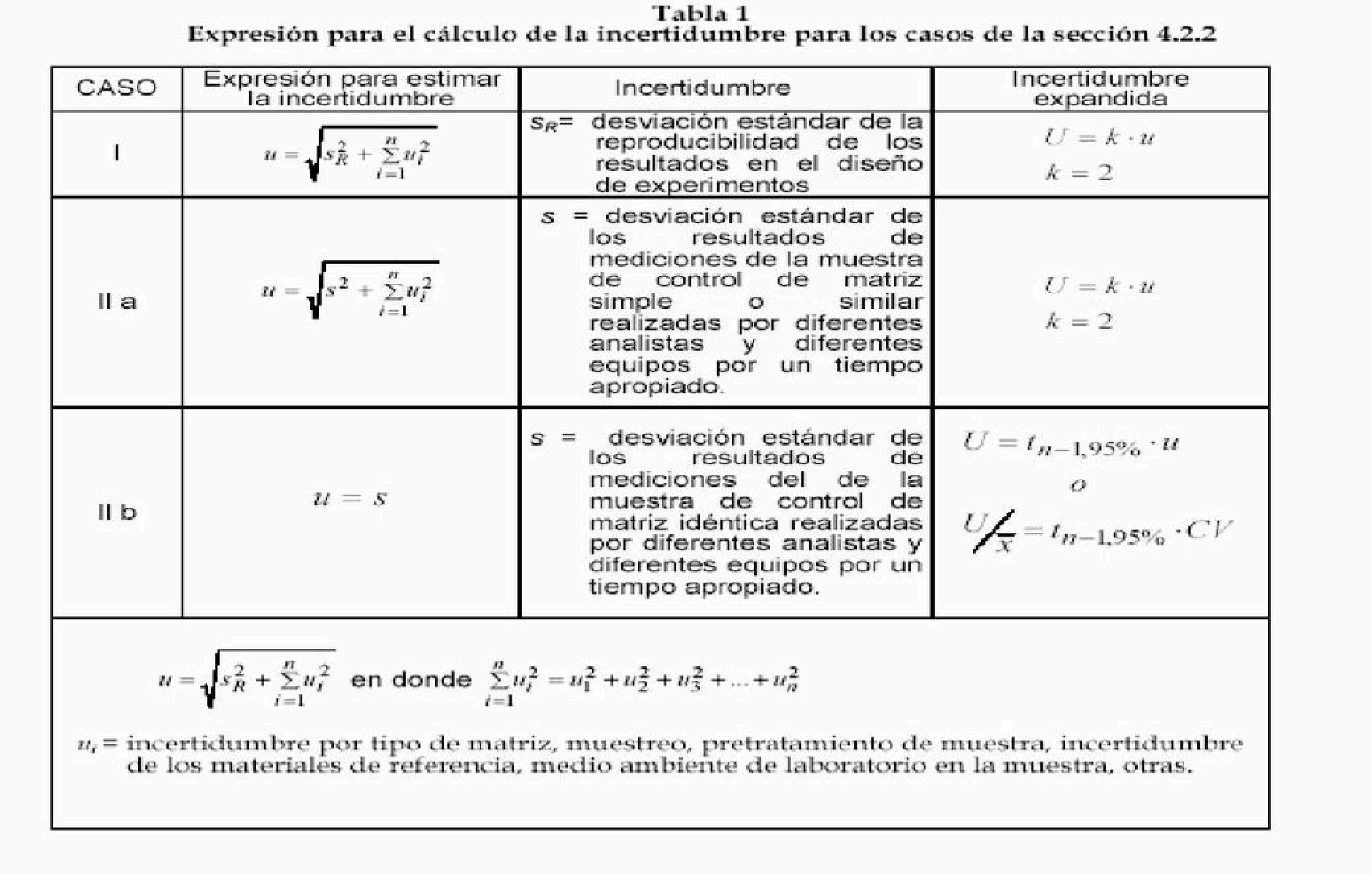


Tabla 1
Expresión para el cálculo de la incertidumbre para los casos de la sección 4.2.2

CASO	Expresión para estimar la incertidumbre	Incertidumbre	Incertidumbre expandida
I	$u = \sqrt{s_R^2 + \sum_{i=1}^{n} u_i^2}$	s_R= desviación estándar de la reproducibilidad de los resultados en el diseño de experimentos	$U = k \cdot u$ $k = 2$
II a	$u = \sqrt{s^2 + \sum_{i=1}^{n} u_i^2}$	s = desviación estándar de los resultados de mediciones de la muestra de control de matriz simple o similar realizadas por diferentes analistas y diferentes equipos por un tiempo apropiado.	$U = k \cdot u$ $k = 2$
II b	$u = s$	s = desviación estándar de los resultados de mediciones del de la muestra de control de matriz idéntica realizadas por diferentes analistas y diferentes equipos por un tiempo apropiado.	$U = t_{n-1,95\%} \cdot u$ o $U/\bar{x} = t_{n-1,95\%} \cdot CV$

$$u = \sqrt{s_R^2 + \sum_{i=1}^{n} u_i^2} \text{ en donde } \sum_{i=1}^{n} u_i^2 = u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + \ldots + u_n^2$$

u_i = incertidumbre por tipo de matriz, muestreo, pretratamiento de muestra, incertidumbre de los materiales de referencia, medio ambiente de laboratorio en la muestra, otras.

¿Qué nos da a conocer la Incertidumbre?

- Caracteriza la calidad del resultado de una medición.
- Refleja la imposibilidad de conocer exactamente el valor del mensurando.
- Corresponde a la duda del resultado de medición.
- Corresponde a la duda una vez eliminados o corregidos los errores detectados.

Fuentes de Incertidumbre

- Principio de medida.
- Método de medida.
- Procedimiento de medida.
- Correcciones por errores detectados.
- Correcciones por cantidades de influencia.
- Valores inexactos de patrones.
- Muestra no representativa del mensurando.
- Aparatos de medición.
- Método de medición.
- Variables no controladas (temperatura, humedad, presión atmosférica, corrientes de aire, variación de energía eléctrica, variación de flujo de agua, etc).

Normativa de estimación de Incertidumbre

NMX-EC-17025-IMNC-2000

5.4.6.2. Los laboratorios de ensayo y calibración deberán tener y aplicar procedimientos para estimar la incertidumbre de medición, el laboratorio debe al menos intentar identificar todos los componentes de la incertidumbre y hacer una estimación razonable basada en el conocimiento del desempeño del método y del alcance de la medición y deberá hacer uso, por ejemplo, de la experiencia previa y de la validación de los datos.

5.4.6.3. Cuando se esté estimando la incertidumbre de medición deben ser tomados en cuenta, todos los componentes de incertidumbre que sean de importancia para la situación dada; usando métodos apropiados de análisis.

Calibración

La calibración de un instrumento es el conjunto de operaciones que establece, bajo condiciones especificas, la relación entre valores indicados por un instrumento de medición o sistema de medición o los valores representados por una medida materializada y los valores correspondientes de la magnitud, realizada por los patrones. En forma simple se define como la comparación de las indicaciones de un instrumento contra un patrón, sin efectuar ningún ajuste.

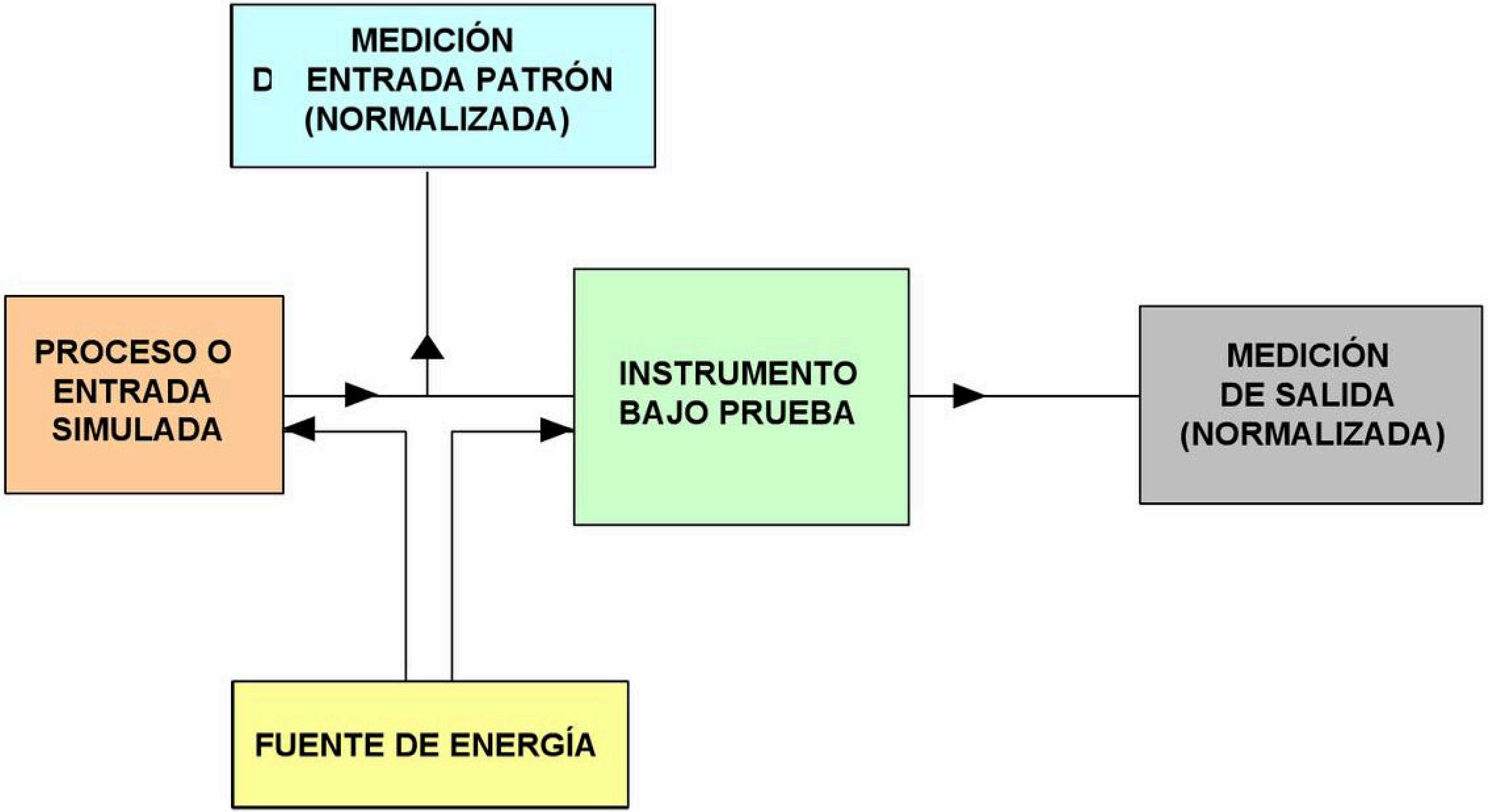
CALIBRACIÓN APROPIADA

MEDICIÓN EXACTA

BUEN CONTROL DEL PROCESO

SEGURIDAD Y COSTOS BAJOS

Diagrama de bloques de la calibración



MEDICIÓN
D ENTRADA PATRÓN
(NORMALIZADA)

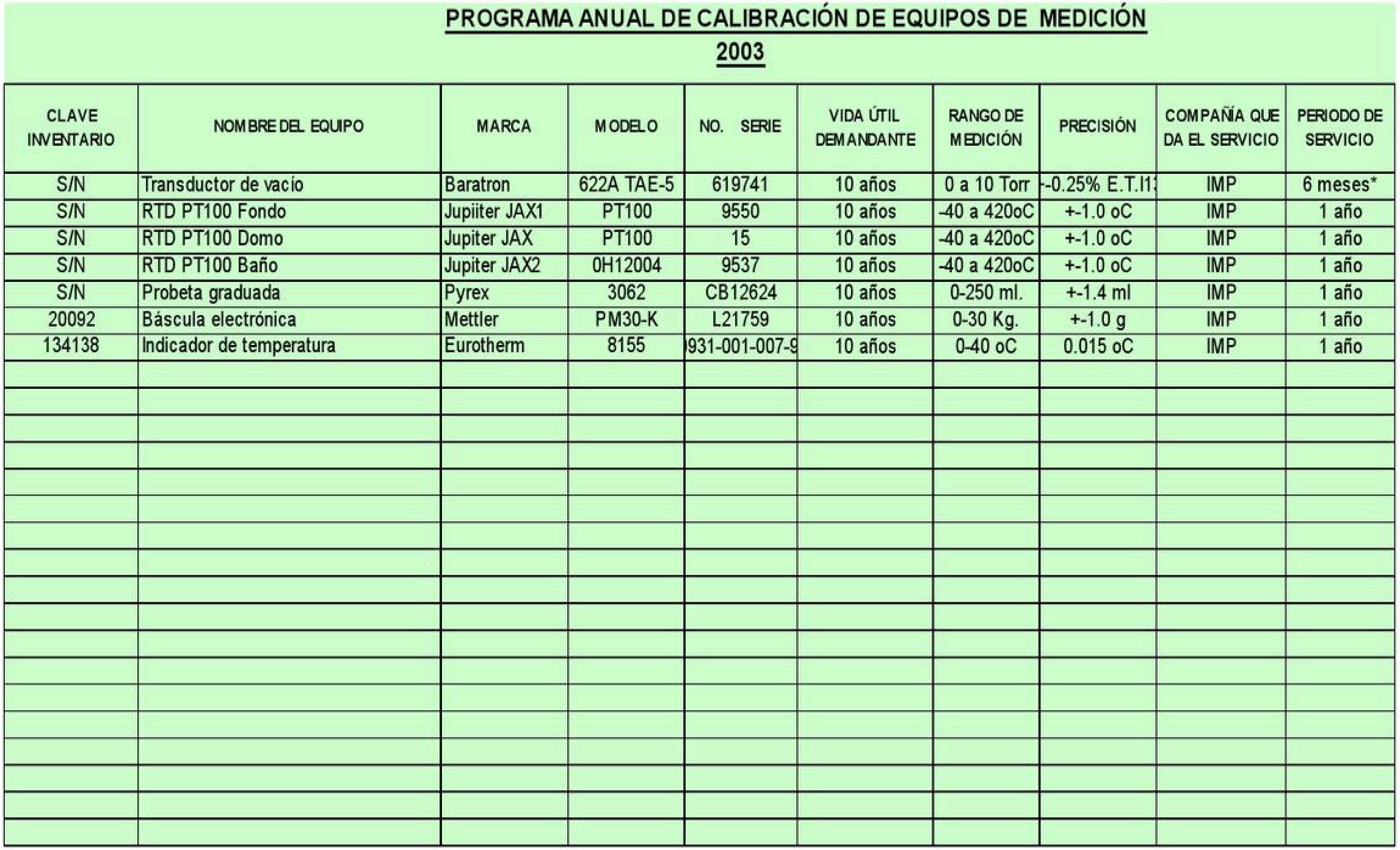
PROCESO O
ENTRADA
SIMULADA

INSTRUMENTO
BAJO PRUEBA

MEDICIÓN
DE SALIDA
(NORMALIZADA)

FUENTE DE ENERGÍA

Programas de calibración de instrumentos



PROGRAMA ANUAL DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MEDICIÓN

2003

CLAVE INVENTARIO	NOMBRE DEL EQUIPO	MARCA	MODELO	NO. SERIE	VIDA ÚTIL DEMANDANTE	RANGO DE MEDICIÓN	PRECISIÓN	COMPAÑÍA QUE DA EL SERVICIO	PERIODO DE SERVICIO
S/N	Transductor de vacío	Baratron	622A TAE-5	619741	10 años	0 a 10 Torr	-0.25% E.T.I1	IMP	6 meses*
S/N	RTD PT100 Fondo	Jupiiter JAX1	PT100	9550	10 años	-40 a 420oC	+-1.0 oC	IMP	1 año
S/N	RTD PT100 Domo	Jupiter JAX	PT100	15	10 años	-40 a 420oC	+-1.0 oC	IMP	1 año
S/N	RTD PT100 Baño	Jupiter JAX2	0H12004	9537	10 años	-40 a 420oC	+-1.0 oC	IMP	1 año
S/N	Probeta graduada	Pyrex	3062	CB12624	10 años	0-250 ml.	+-1.4 ml	IMP	1 año
20092	Báscula electrónica	Mettler	PM30-K	L21759	10 años	0-30 Kg.	+-1.0 g	IMP	1 año
134138	Indicador de temperatura	Eurotherm	8155	931-001-007-9	10 años	0-40 oC	0.015 oC	IMP	1 año

Patrones de calibración

PATRÓN (de medición)

Medida materializada, instrumento de medición, material de referencia o sistema de medición destinado a definir, realizar, conservar o reproducir una unidad o más valores de una magnitud para utilizarse como referencia.

PATRÓN NACIONAL (de medición)

Patrón reconocido por una decisión nacional en un país, que sirve de base para asignar valores a otros patrones de la magnitud concerniente.

Patrones de calibración

PATRÓN (de medición).- Medida materializada, instrumento de medición, material de referencia o sistema de medición destinado a definir, realizar, conservar o reproducir una unidad o más valores de una magnitud para utilizarse como referencia.

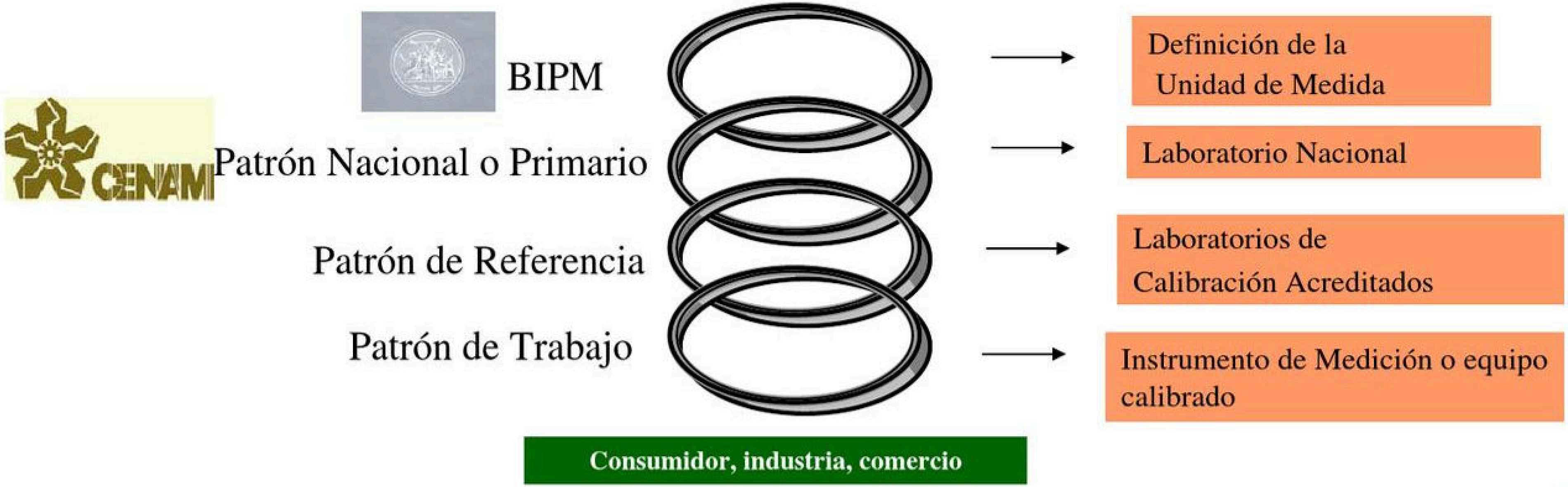
PATRÓN NACIONAL (de medición).- Patrón reconocido por una decisión nacional en un país, que sirve de base para asignar valores a otros patrones de la magnitud concerniente.

PATRÓN SECUNDARIO.- Patrón cuyo valor es establecido por comparación con un patrón primario de la misma magnitud.

PATRÓN DE TRABAJO.- Patrón que es usado rutinariamente para calibrar o controlar las medidas materializadas, instrumentos de medición o los materiales de referencia.

Trazabilidad de la medición

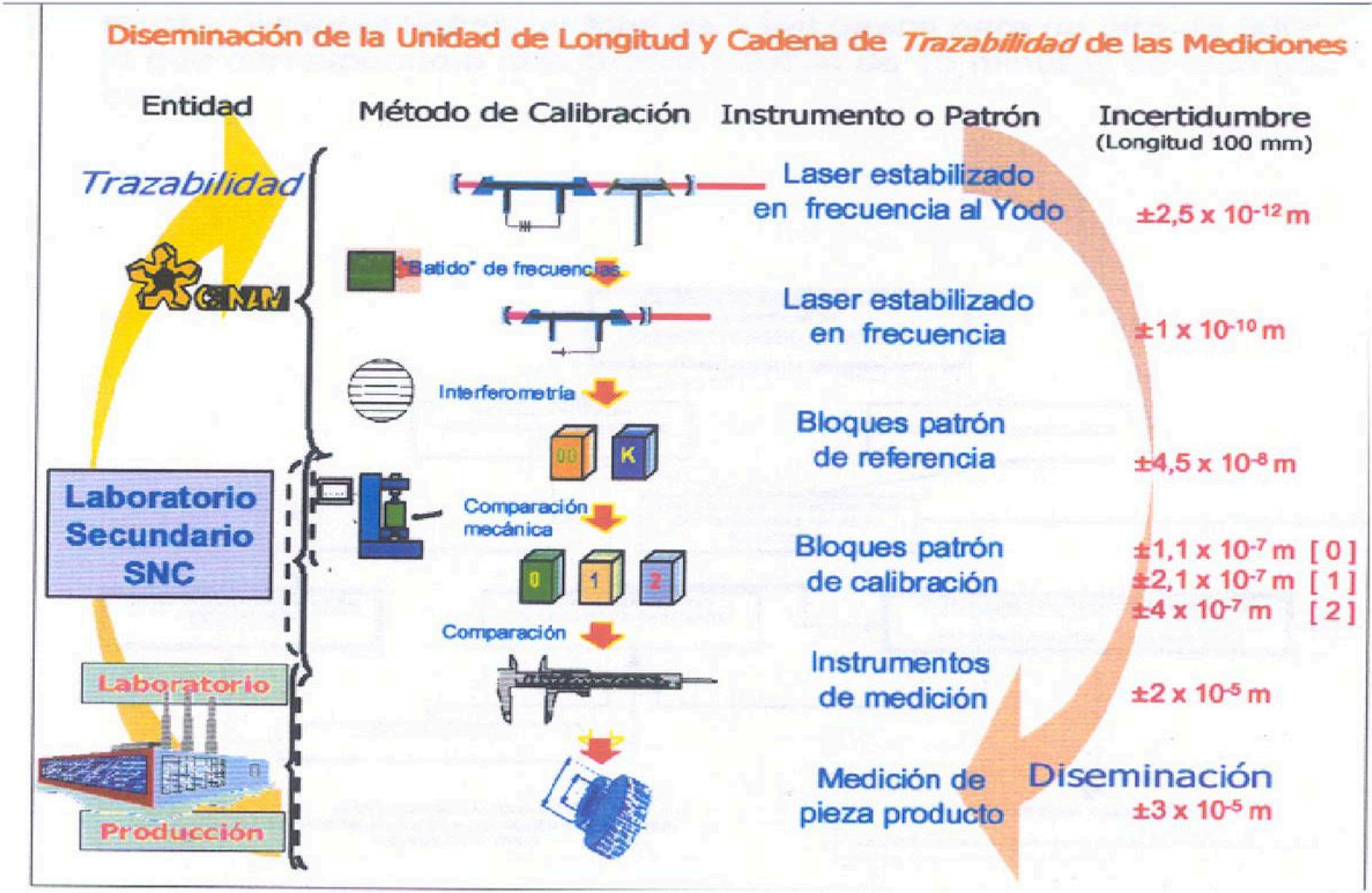
Propiedad del resultado de una medición o del valor de un patrón por la cual pueda ser relacionado a referencias determinadas generalmente patrones nacionales o internacionales por medio de una cadena ininterumpida de comparaciones teniendo todas las incertidumbres determinadas.



BIPM	Definición de la Unidad de Medida
Patrón Nacional o Primario	Laboratorio Nacional
Patrón de Referencia	Laboratorios de Calibración Acreditados
Patrón de Trabajo	Instrumento de Medición o equipo calibrado

Consumidor, industria, comercio

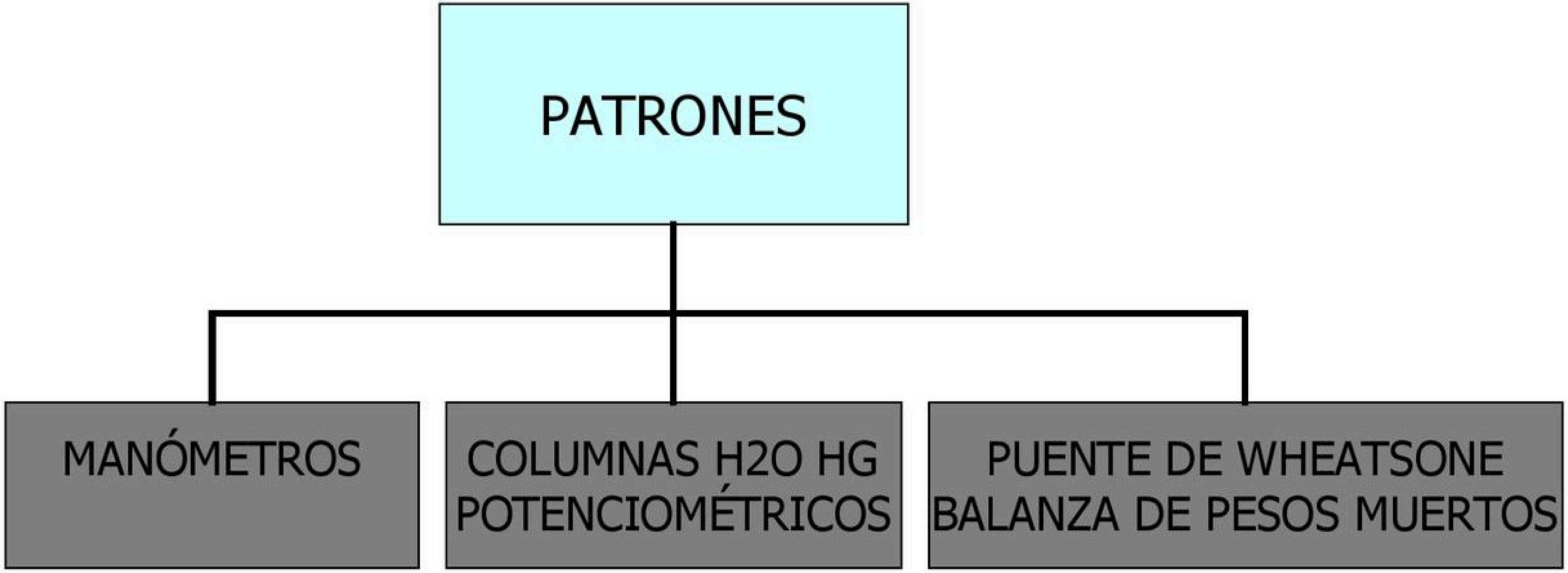
Ejemplo de trazabilidad de la medición



Diseminación de la Unidad de Longitud y Cadena de *Trazabilidad* de las Mediciones

Entidad	Método de Calibración	Instrumento o Patrón	Incertidumbre (Longitud 100 mm)
CENAM		Laser estabilizado en frecuencia al Yodo	±2,5 x 10^{-12} m
	"Batido" de frecuencias	Laser estabilizado en frecuencia	±1 x 10^{-10} m
	Interferometría	Bloques patrón de referencia	±4,5 x 10^{-8} m
Laboratorio Secundario SNC	Comparación mecánica	Bloques patrón de calibración	±1,1 x 10^{-7} m [0] ±2,1 x 10^{-7} m [1] ±4 x 10^{-7} m [2]
Laboratorio	Comparación	Instrumentos de medición	±2 x 10^{-5} m
Producción		Medición de pieza producto	±3 x 10^{-5} m

Patrones de trabajo



PATRONES

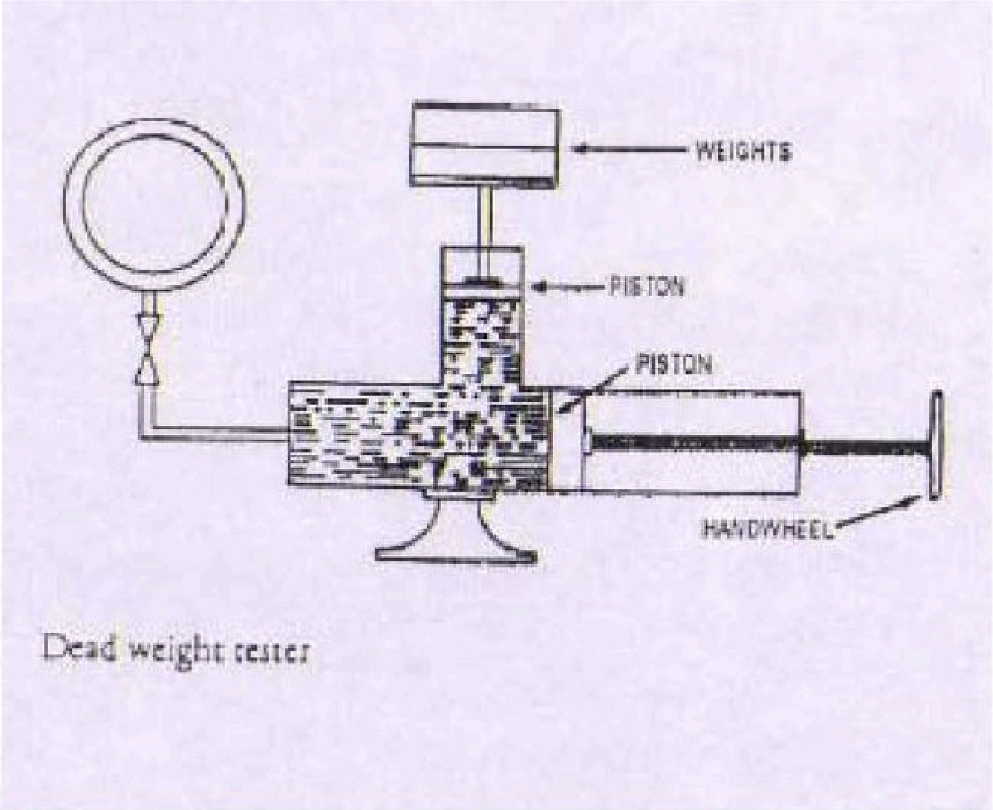
MANÓMETROS

COLUMNAS H2O HG
POTENCIOMÉTRICOS

PUENTE DE WHEATSONE
BALANZA DE PESOS MUERTOS

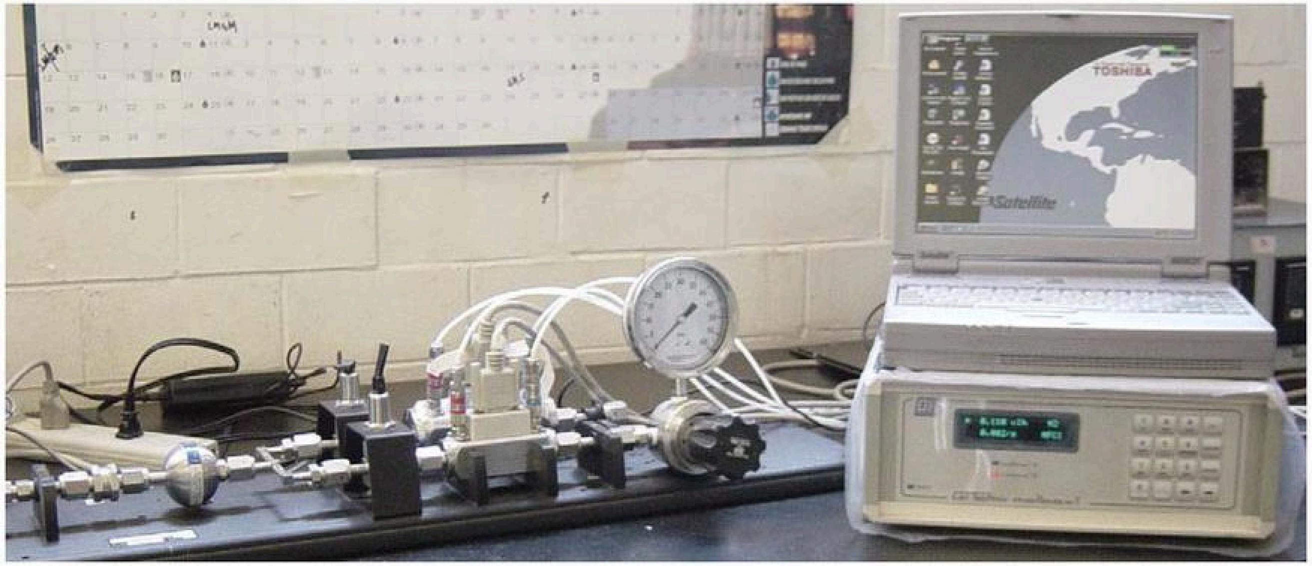
Calibradores neumáticos

Balanza de pesos muertos

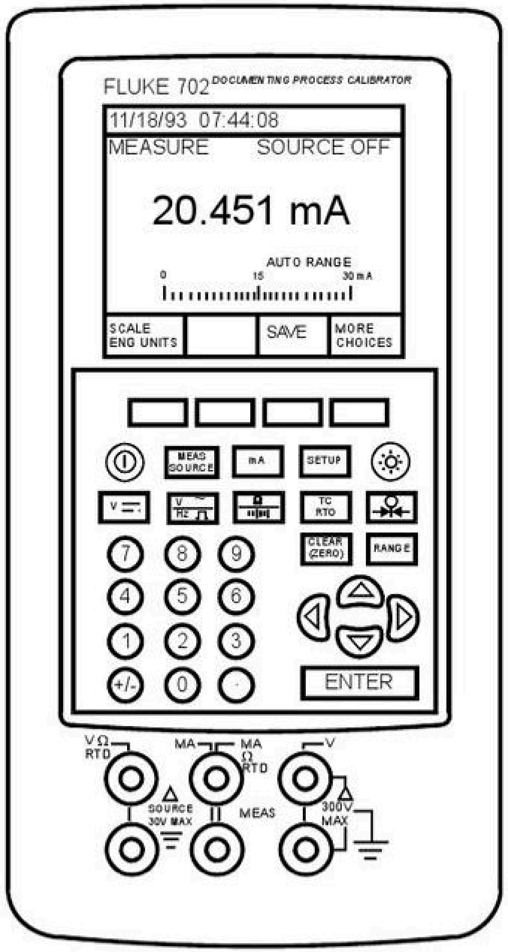

WEIGHTS
PISTON
PISTON
HANDWHEEL

Dead weight tester

Calibrador de flujo



Calibrador de presión

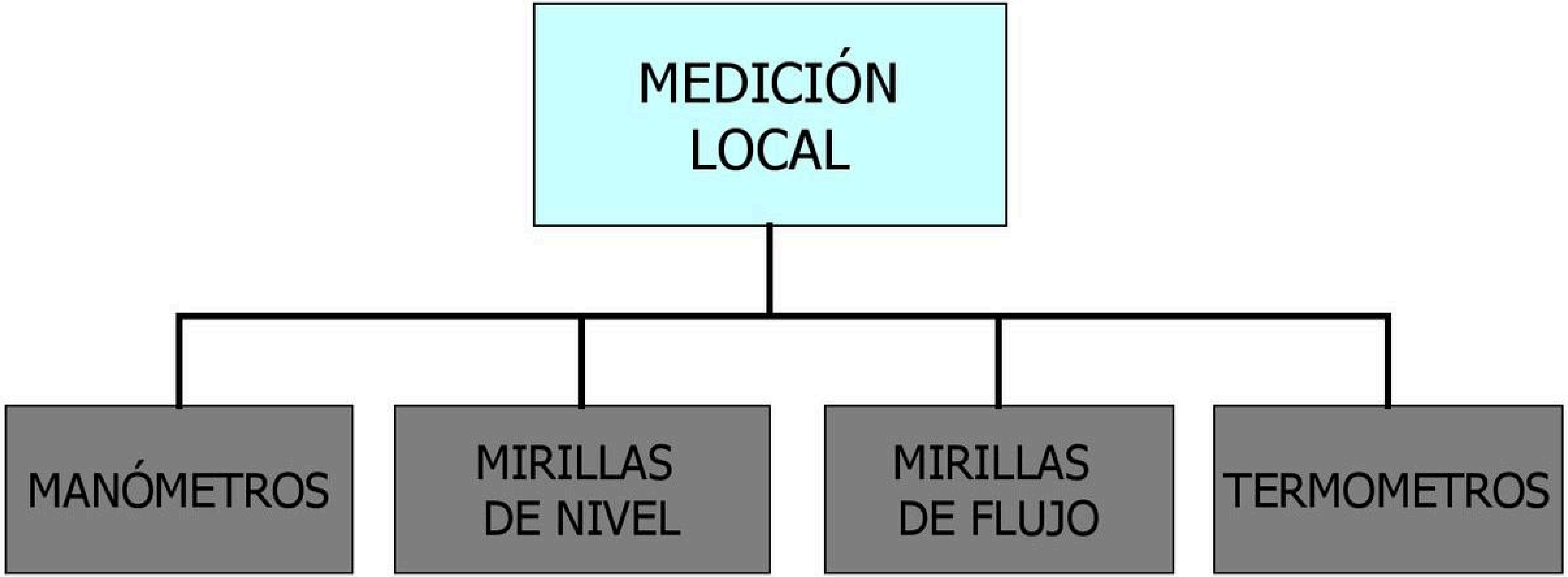

FLUKE 702 DOCUMENTING PROCESS CALIBRATOR
11/18/93 07:44:08
MEASURE
SOURCE OFF
20.451 mA
AUTO RANGE
0
15
30 mA
SCALE ENG UNITS
SAVE
MORE CHOICES
MEAS SOURCE
mA
SETUP
TC RTO
CLEAR (ZERO)
RANGE
ENTER
V Ω RTD
MA
MA Ω RTD
V
SOURCE 30V MAX
MEAS
300V MAX

FLUKE 743B DOCUMENTING PROCESS CALIBRATOR
-3.1 psi
RANGE 5000 PSIG
ENTER
26 4 2004

Medición Industrial

- Medición Local
- Medición Remota

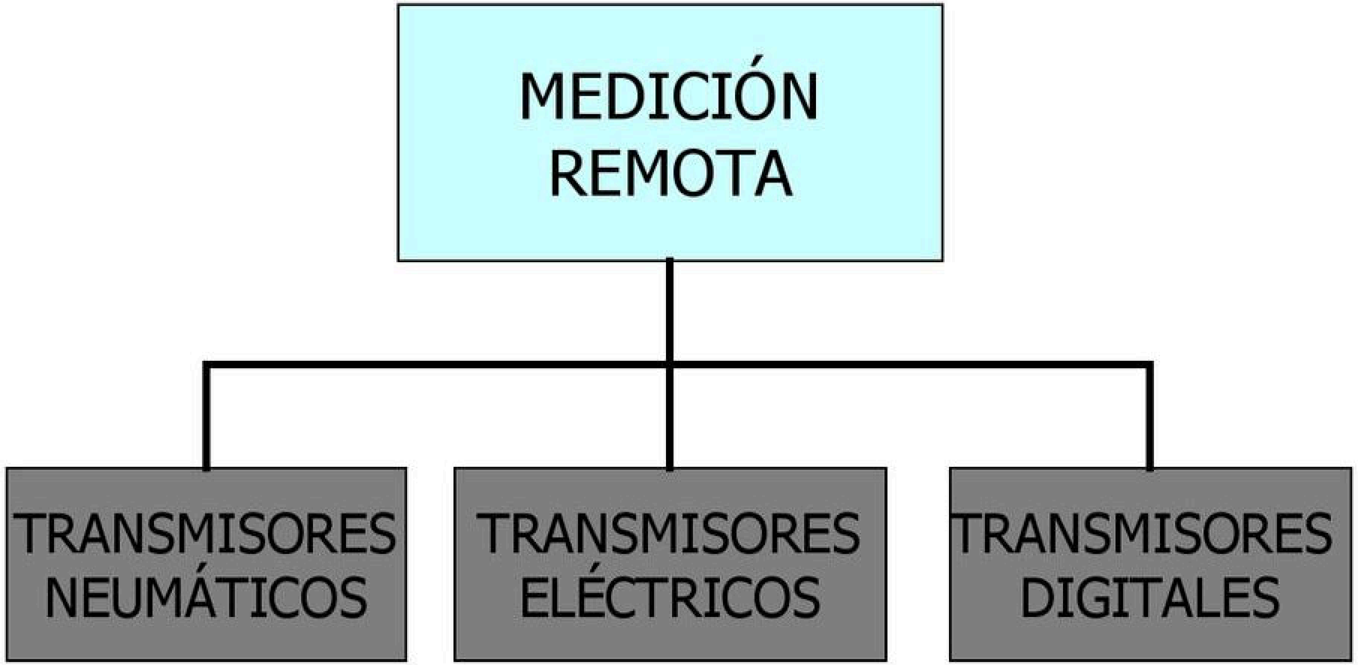
Medición Local



MEDICIÓN LOCAL

- MANÓMETROS
- MIRILLAS DE NIVEL
- MIRILLAS DE FLUJO
- TERMOMETROS

Medición Remota



MEDICIÓN REMOTA

TRANSMISORES NEUMÁTICOS

TRANSMISORES ELÉCTRICOS

TRANSMISORES DIGITALES

Instrumentación

La instrumentación es una especialidad referente a los instrumentos de medición, principalmente a los utilizados industrialmente, y forma parte primordial dentro de un sistema enfocado al control de un proceso industrial, por lo que generalmente un instrumentista es un especialista en instrumentación y control.

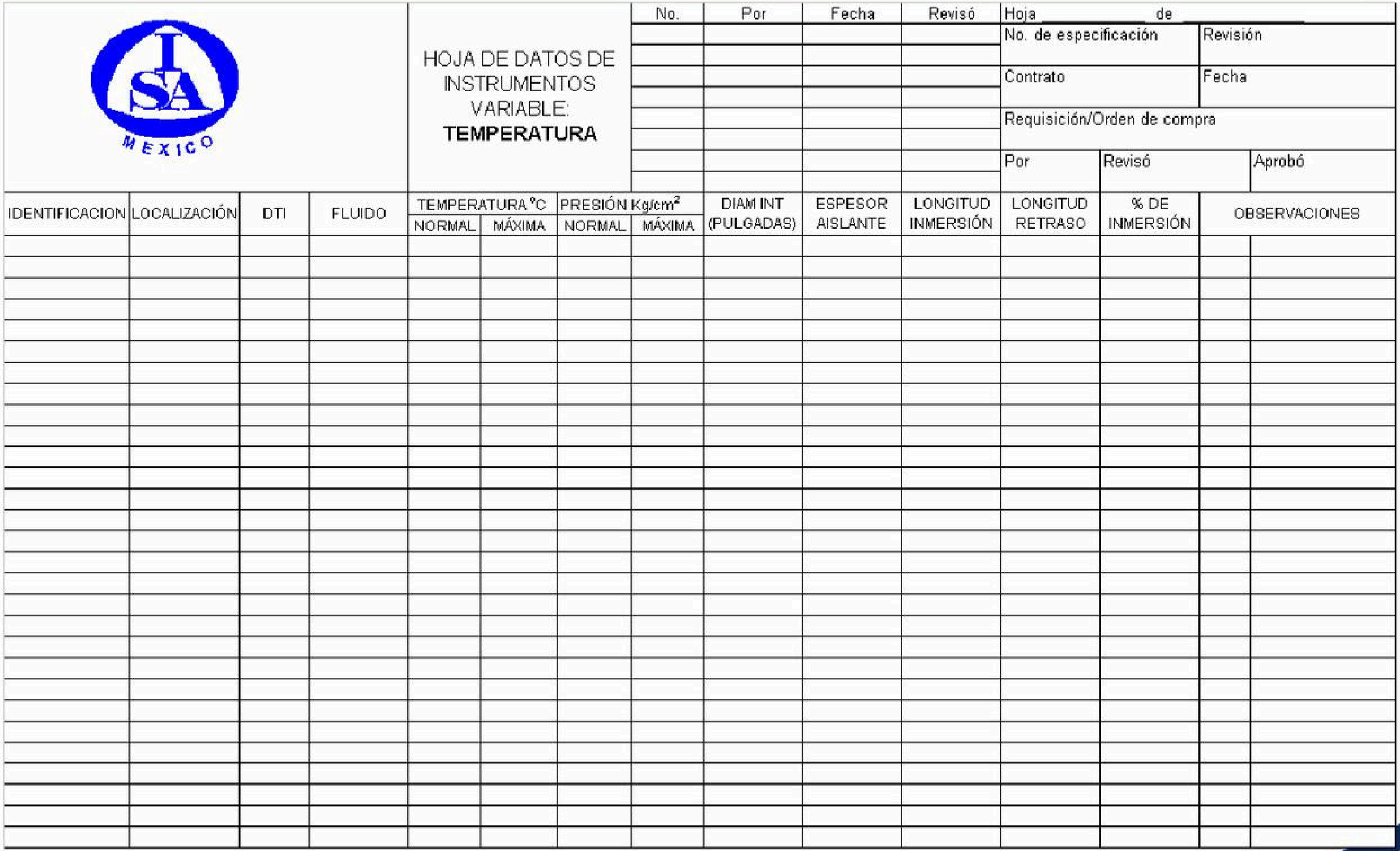
Un buen conocimiento de la especialidad redunda en una buena especificación y selección de la instrumentación óptima en un proceso industrial lo cual contribuirá como un factor de aumento de calidad y eficiencia en la producción.

Hojas de datos de instrumentos

Una hoja de datos es una tabla donde se introducen los datos de proceso mínimos necesarios para efectuar la especificación de un instrumento, como pueden ser: temperatura normal y máxima de operación, presión normal y máxima de operación, material de la tubería, tipo de fluído, diámetro de la tubería, etc.

En un proyecto, generalmente estos datos se toman del diagrama de flujo de proceso y del diagrama de tubería e instrumentación, en el que se indican las condiciones de operación de los puntos importantes del proceso y las características de los recipientes y de las líneas de tubería.

Hojas de datos de instrumentos



ISA
MEXICO

HOJA DE DATOS DE INSTRUMENTOS VARIABLE: **TEMPERATURA**

No.	Por	Fecha	Revisó

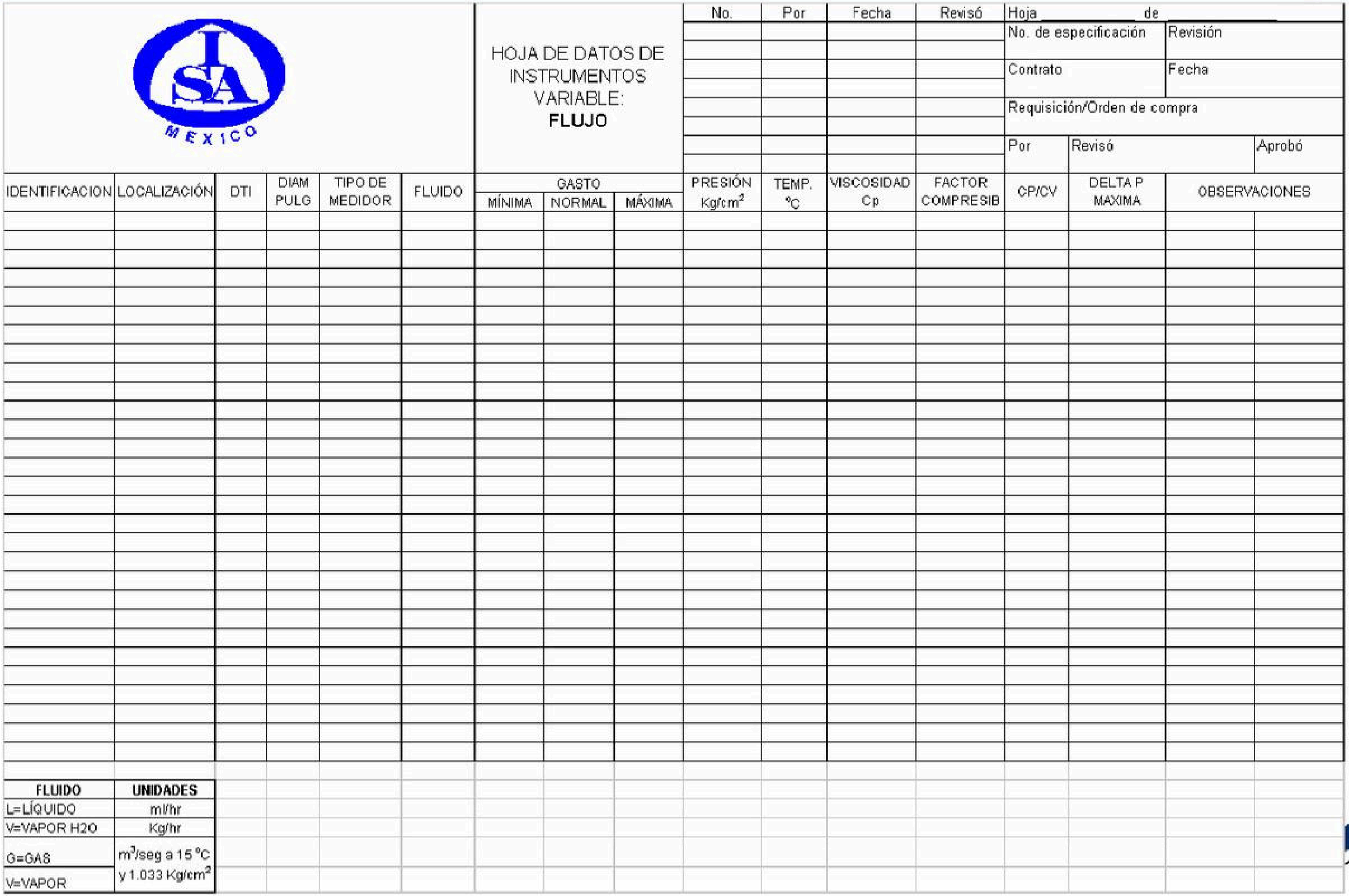
Hoja ____________ de ____________

No. de especificación	Revisión
Contrato	Fecha
Requisición/Orden de compra	

Por	Revisó	Aprobó

IDENTIFICACION	LOCALIZACIÓN	DTI	FLUIDO	TEMPERATURA °C		PRESIÓN Kg/cm²		DIAM INT (PULGADAS)	ESPESOR AISLANTE	LONGITUD INMERSIÓN	LONGITUD RETRASO	% DE INMERSIÓN	OBSERVACIONES	
				NORMAL	MÁXIMA	NORMAL	MÁXIMA							

Hojas de datos de instrumentos



HOJA DE DATOS DE INSTRUMENTOS VARIABLE:
FLUJO

No.	Por	Fecha	Revisó

Hoja ______ de ______

No. de especificación		Revisión
Contrato		Fecha
Requisición/Orden de compra		
Por	Revisó	Aprobó

IDENTIFICACION	LOCALIZACIÓN	DTI	DIAM PULG	TIPO DE MEDIDOR	FLUIDO	GASTO			PRESIÓN Kg/cm²	TEMP. °C	VISCOSIDAD Cp	FACTOR COMPRESIB	CP/CV	DELTA P MAXIMA	OBSERVACIONES	
						MÍNIMA	NORMAL	MÁXIMA								

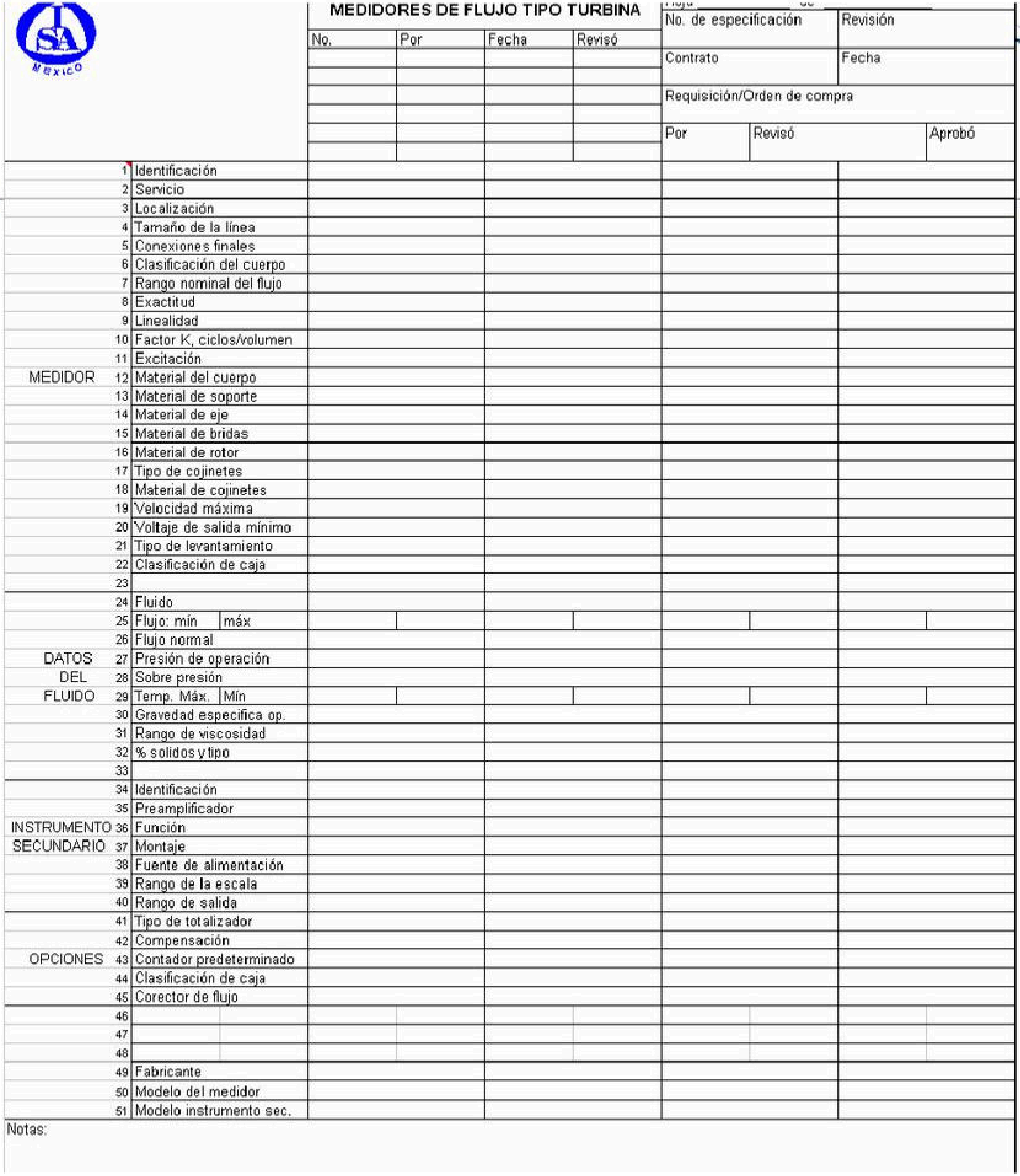
FLUIDO	UNIDADES
L=LÍQUIDO	ml/hr
V=VAPOR H2O	Kg/hr
G=GAS	m³/seg a 15 °C y 1.033 Kg/cm²
V=VAPOR	

Hoja de especificación de instrumentos

Una hoja de este tipo especifica las características generales y específicas del instrumento para su compra.

Para el llenado de esta hoja, es necesario conocer el tipo de instrumento que se ha seleccionado en base a las condiciones de operación plasmadas en las hojas de datos de instrumentos.

La hoja de especificación es un documento básico dentro de la ingeniería de proyecto, ya que fundamenta la compra y sirve de apoyo para las diferentes actividades subsecuentes de un proyecto, como los típicos de instalación, diagramas de alambrado, suministros de energía, etc.



MEDIDORES DE FLUJO TIPO TURBINA

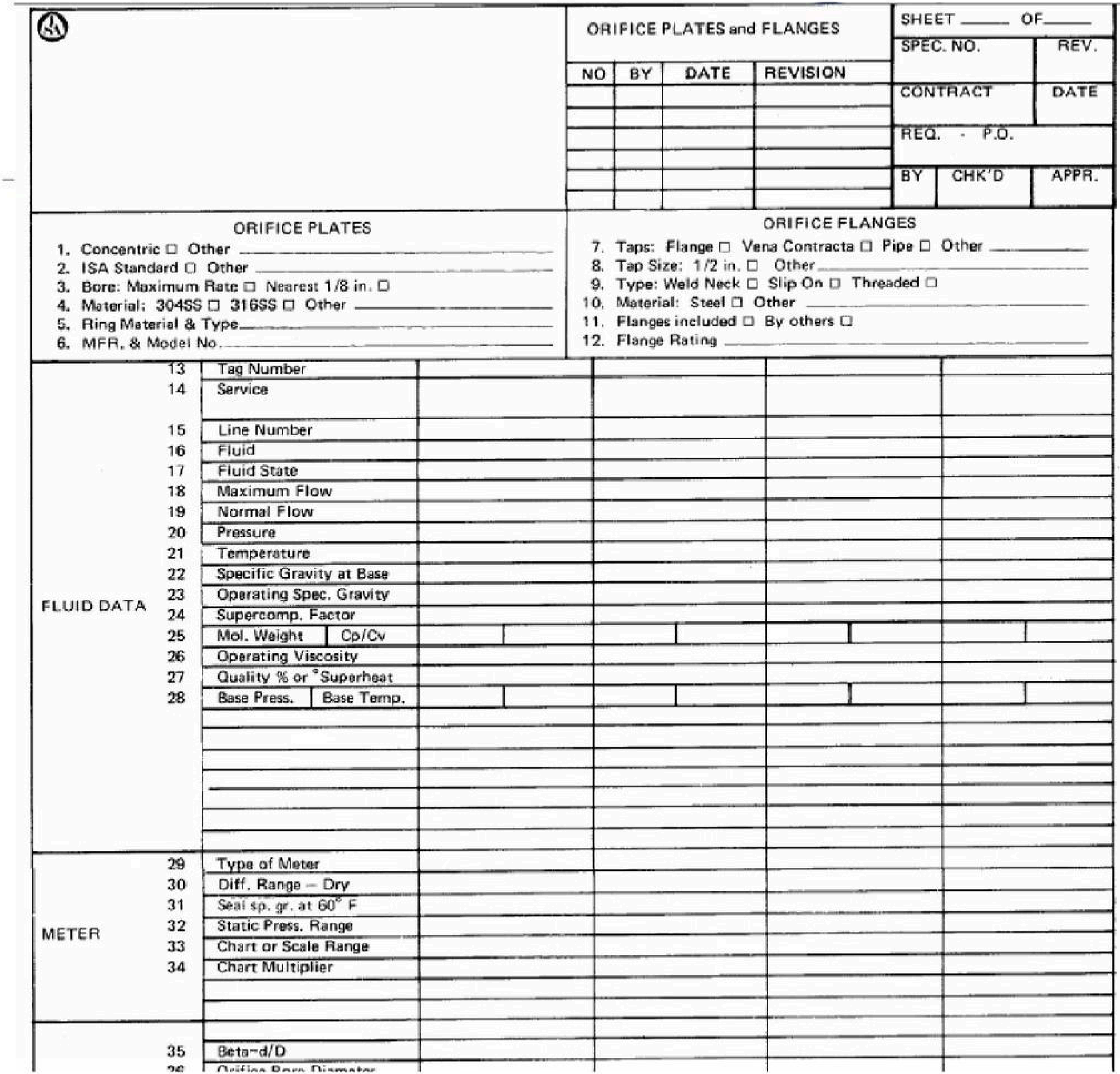
No.	Por	Fecha	Revisó	No. de especificación		Revisión
				Contrato		Fecha
				Requisición/Orden de compra		
				Por	Revisó	Aprobó

MEDIDOR	1	Identificación
	2	Servicio
	3	Localización
	4	Tamaño de la línea
	5	Conexiones finales
	6	Clasificación del cuerpo
	7	Rango nominal del flujo
	8	Exactitud
	9	Linealidad
	10	Factor K, ciclos/volumen
	11	Excitación
	12	Material del cuerpo
	13	Material de soporte
	14	Material de eje
	15	Material de bridas
	16	Material de rotor
	17	Tipo de cojinetes
	18	Material de cojinetes
	19	Velocidad máxima
	20	Voltaje de salida mínimo
	21	Tipo de levantamiento
	22	Clasificación de caja
	23	
DATOS DEL FLUIDO	24	Fluido
	25	Flujo: mín | máx
	26	Flujo normal
	27	Presión de operación
	28	Sobre presión
	29	Temp. Máx. | Mín
	30	Gravedad especifica op.
	31	Rango de viscosidad
	32	% solidos y tipo
	33	
INSTRUMENTO SECUNDARIO	34	Identificación
	35	Preamplificador
	36	Función
	37	Montaje
	38	Fuente de alimentación
	39	Rango de la escala
	40	Rango de salida
OPCIONES	41	Tipo de totalizador
	42	Compensación
	43	Contador predeterminado
	44	Clasificación de caja
	45	Corector de flujo
	46	
	47	
	48	
	49	Fabricante
	50	Modelo del medidor
	51	Modelo instrumento sec.

Notas:

Hojas de especificación de instrumentos

(ISA S20)



	ORIFICE PLATES and FLANGES		SHEET ____ OF ____	
			SPEC. NO.	REV.
NO	BY	DATE	REVISION	
			CONTRACT	DATE
			REQ. - P.O.	
			BY	CHK'D APPR.

ORIFICE PLATES

1. Concentric ☐ Other ________
2. ISA Standard ☐ Other ________
3. Bore: Maximum Rate ☐ Nearest 1/8 in. ☐
4. Material: 304SS ☐ 316SS ☐ Other ________
5. Ring Material & Type ________
6. MFR. & Model No. ________

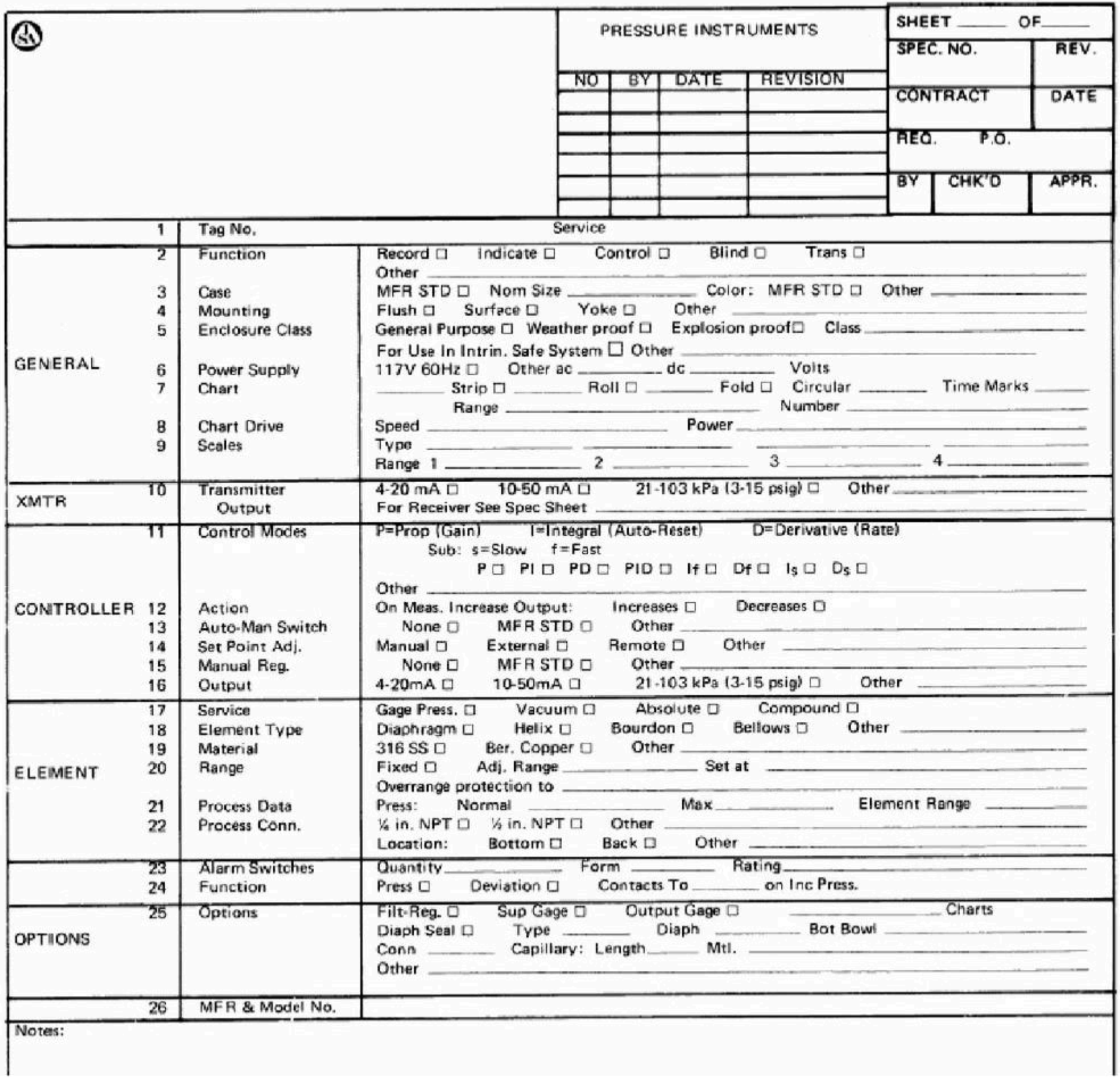
ORIFICE FLANGES

7. Taps: Flange ☐ Vena Contracta ☐ Pipe ☐ Other ________
8. Tap Size: 1/2 in. ☐ Other ________
9. Type: Weld Neck ☐ Slip On ☐ Threaded ☐
10. Material: Steel ☐ Other ________
11. Flanges included ☐ By others ☐
12. Flange Rating ________

	13	Tag Number				
	14	Service				
	15	Line Number				
	16	Fluid				
	17	Fluid State				
	18	Maximum Flow				
	19	Normal Flow				
	20	Pressure				
	21	Temperature				
	22	Specific Gravity at Base				
	23	Operating Spec. Gravity				
FLUID DATA	24	Supercomp. Factor				
	25	Mol. Weight Cp/Cv				
	26	Operating Viscosity				
	27	Quality % or °Superheat				
	28	Base Press. Base Temp.				
	29	Type of Meter				
	30	Diff. Range – Dry				
	31	Seal sp. gr. at 60° F				
METER	32	Static Press. Range				
	33	Chart or Scale Range				
	34	Chart Multiplier				
	35	Beta–d/D				

Hojas de especificación de instrumentos

(ISA S20)



PRESSURE INSTRUMENTS

NO	BY	DATE	REVISION

SHEET ______ OF ______

SPEC. NO.	REV.
CONTRACT	DATE
REQ. P.O.	

BY	CHK'D	APPR.

	1	Tag No.	Service
GENERAL	2	Function	Record ☐ Indicate ☐ Control ☐ Blind ☐ Trans ☐ Other ______
	3	Case	MFR STD ☐ Nom Size ______ Color: MFR STD ☐ Other ______
	4	Mounting	Flush ☐ Surface ☐ Yoke ☐ Other ______
	5	Enclosure Class	General Purpose ☐ Weather proof ☐ Explosion proof☐ Class ______ For Use In Intrin. Safe System ☐ Other ______
	6	Power Supply	117V 60Hz ☐ Other ac ______ dc ______ Volts
	7	Chart	______ Strip ☐ Roll ☐ ______ Fold ☐ Circular ______ Time Marks ______ Range ______ Number ______
	8	Chart Drive	Speed ______ Power ______
	9	Scales	Type ______ ______ ______ ______ Range 1 ______ 2 ______ 3 ______ 4 ______
XMTR	10	Transmitter Output	4-20 mA ☐ 10-50 mA ☐ 21-103 kPa (3-15 psig) ☐ Other ______ For Receiver See Spec Sheet ______
CONTROLLER	11	Control Modes	P=Prop (Gain) I=Integral (Auto-Reset) D=Derivative (Rate) Sub: s=Slow f=Fast P ☐ PI ☐ PD ☐ PID ☐ If ☐ Df ☐ Is ☐ Ds ☐ Other ______
	12	Action	On Meas. Increase Output: Increases ☐ Decreases ☐
	13	Auto-Man Switch	None ☐ MFR STD ☐ Other ______
	14	Set Point Adj.	Manual ☐ External ☐ Remote ☐ Other ______
	15	Manual Reg.	None ☐ MFR STD ☐ Other ______
	16	Output	4-20mA ☐ 10-50mA ☐ 21-103 kPa (3-15 psig) ☐ Other ______
ELEMENT	17	Service	Gage Press. ☐ Vacuum ☐ Absolute ☐ Compound ☐
	18	Element Type	Diaphragm ☐ Helix ☐ Bourdon ☐ Bellows ☐ Other ______
	19	Material	316 SS ☐ Ber. Copper ☐ Other ______
	20	Range	Fixed ☐ Adj. Range ______ Set at ______ Overrange protection to ______
	21	Process Data	Press: Normal ______ Max ______ Element Range ______
	22	Process Conn.	¼ in. NPT ☐ ½ in. NPT ☐ Other ______ Location: Bottom ☐ Back ☐ Other ______
	23	Alarm Switches	Quantity ______ Form ______ Rating ______
	24	Function	Press ☐ Deviation ☐ Contacts To ______ on Inc Press.
OPTIONS	25	Options	Filt-Reg. ☐ Sup Gage ☐ Output Gage ☐ ______ Charts Diaph Seal ☐ Type ______ Diaph ______ Bot Bowl ______ Conn ______ Capillary: Length ______ Mtl. ______ Other ______
	26	MFR & Model No.	

Notes:

Hojas de especificación de instrumentos

(ISA S20)

Evolución de la instrumentación y control

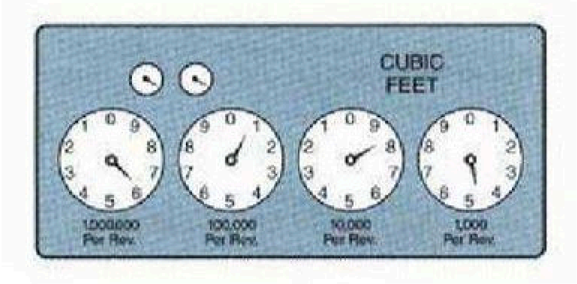
PERÍODO	ANTES DE 1920	1930 A 1940	1940 A 1950	1950 A 1960	1960 A 1970	1970 A 1980	1980 A 1990	1990 EN ADELANTE
INSTRUMENTACIÓN	MEDICIONES LOCALES ELEMENTOS FINALES DE CONTROL	PRIMEROS SERVO MECANISMOS ACTUADORES NEUMÁTICOS	PRIMEROS INSTRUMENTOS ELECTRÓNICOS PRIMERAS CELDAS DE PRESIÓN DIF.	SURGE LA CROMATOGRAFÍA DE GASES SURGEN NUEVOS PRINCIPIOS DE MEDICIÓN	DESARROLLO DE NUEVOS CONTROLADORES ELECTRÓNICOS MAS CAPACES SE DESARROLLAN NUEVOS TIPOS DE VÁLVULAS DE CONTROL	SE INTRODUCEN LOS MICRO PROCESADORES EN LA INSTRUMENTACIÓN	SE DESARROLLAN NUEVOS INSTRUMENTOS CON MEJOR EXACTITUD Y CONFIABILIDAD CON PRECIOS REDUCIDOS	SE DESARROLLAN INSTRUMENTOS INTELIGENTES CON FUNCIONES MÚTLIPLES CON AUTO CALIBRACIÓN Y AUTO DIAGNÓSTICO
SISTEMAS DE CONTROL	CONTROL MECÁNICO CONTROL DE DOS POSICIONES	PRIMEROS CONTROLES NEUMÁTICOS PID PRIMEROS CONTROLES LÓGICOS PROGRAMABLES	DESARROLLO DE LA TEORÍA DE CONTROL MODERNA PRIMERAS TÉCNICAS DE SINTONÍA	SE DEFINEN LAS BASES DE CONTROL SUPERVISORIO Y DE CONTROL DIGITAL DIRECTO	SE DEFINEN LAS BASES DE CONTROL DISTRIBUIDO SE DESARROLAN LOS PRIMEROS PLC´s DIGITALES	SE INCREMENTA LA CAPCIDAD DE LOS SISTEMAS DE CONTROL DISTRIBUIDO Y DE LOS PLC´s	SE DESARROLLAN LAS PRIMERAS APLICACIONES DE CONTROL AVANZADO	SE INTRODUCEN LOS CONCEPTOS DE INTER OPERABILIDAD E INTER CONECTIVIDAD
TELEMETRIA	INSTRUMENTACIÓN LOCAL	TRANSMISIÓN NEUMÁTICA	TRANSMISIÓN ELÉCTRICA	TRANSMISIÓN 4-20 mA.	SE DESARROLLAN LOS PRIMEROS SISTEMAS DE TELEMETRÍA	SE DESARROLLAN LOS PRIMEROS SISTEMAS DE FIBRA ÓPTICA	SE NORMALIZAN LOS PRIMEROS PROTOCOLOS DIGITALES	SE INTRODUCEN LOS CANALES DE CAMPO

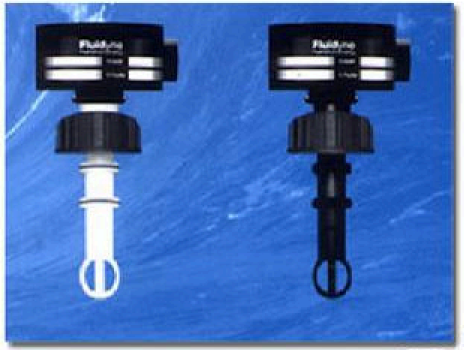
¿Cómo seleccionar un medidor?

Fundamentalmente la selección se basa en las consideraciones de proceso, a la importancia del dato de medición en el proceso y al aspecto económico.

De ahí la importancia de conocer el principio de medición de los diferentes tipos de medidores y los cálculos necesarios de los elementos primarios para obtener el máximo rendimiento costo-beneficio de ellos y así disminuir el error en la medición.

Este curso provee métodos técnicos para el diseño, especificación, cálculo y selección de medidores, dando una guía para medir variables físicas de la mejor manera posible.


CUBIC FEET
1,000,000 Per Rev.
100,000 Per Rev.
10,000 Per Rev.
1,000 Per Rev.



Tips para seleccionar un medidor

1. **Medidor más familiar.-** el más fácilmente entendible, basado sobre gran cantidad de mediciones y períodos de tiempo.

2. **Medidor que se ha utilizado en aplicaciones previas similares.-** simple aproximación, no necesariamente malo pero no siempre la mejor solución. Puede ser muy malo si la selección es siempre la misma.

3. **Considerar todos los factores que puedan influir en la selección.-** consume en algunos casos demasiadas h-h y es justificada en aplicaciones críticas de flujo.

Ejemplo de características principales para la selección de un medidor de flujo

ESTANDARES DE LA COMPAÑÍA	CONEXIONES PARA INSTALACIÓN: BRIDADO, ROSCADO, ETC.
REQUERIMIENTOS LEGALES	LIMITACIONES DE ESPACIO
FASE DEL FLUIDO PRINCIPAL	TRAYECTORIA DE TUBERIA CORRIENTE ARRRIBA
CONTENIDO DE SOLIDOS	COMPONENTES MAS CERCANOS CORRIENTE
FACTORES DE CALIBRACIÓN	NIVEL DE VIBRACIÓN
TIPO DE FLUIDO: AGUA, AIRE HC, ETC	REPETIBILIDAD DE LECTURA
NATURALEZA DEL FLUIDO: CORROSIVO, CONDUCTIVO, ETC	VELOCIDAD O TOTALIZACIÓN
TAMAÑO Y MATERIAL DE TUBERÍA	TIEMPO DE RESPUESTA
INDICADOR DE FLUJO	FLUJO MÁXIMO Y MÍNIMO
OBSTRUCCIÓN DE FLUJO PÉRDIDA DE PRESIÓN	PRESIÓN MÁXIMA Y MÍNIMA
TIPO DE SALIDA DE CONTROL	TEMPERATURA MÁXIMA Y MÍNIMA
TIEMPO ENTRE INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO	DENSIDAD DEL FLUIDO
SEGURIDAD	VISCOSIDAD DEL FLUIDO
COSTO	FLUJO PULSANTE?
DESVÍO DE CALIBRACIÓN	FLUJO LAMINAR?
PROVEEDORES	CONDICIONES EXTERNAS: HUMEDAD, CALOR,

Setting the Standard for Automation™

INSTRUMENTACIÓN BÁSICA DE PROCESOS INDUSTRIALES

CAPÍTULO 2

SIMBOLOGÍA

DOCENTE
MARCELO SEPULVEDA ITURRIETA

Los diagramas de tubería e instrumentación (DTI´s)

Los DTI's son diagramas que contienen básicamente los equipos de proceso, las tuberías, los instrumentos y las estrategias de control del proceso. Un DTI es el elemento único más importante en el dibujo para:

- Definir y organizar un proyecto
- Mantener el control sobre un contratista durante la construcción
- Entender como es controlada la planta después de finalizar el proyecto
- Mantener un registro de lo que fue acordado y aprobado formalmente para la construcción
- Registrar lo que fue construido en la forma como se diseño con los DTI's

Los diagramas de tubería e instrumentación (DTI´s)

Los DTI's son conocidos con varios nombres, pero todo mundo sin tomar en cuenta como son nombrados conocen su valor. Estos son algunos de los nombres por los cuales son conocidos :

- DTI's
- P&ID's (por sus siglas en inglés)
- Diagramas de tubería e instrumentación
- Diagramas de procesos e instrumentación

La mayoria de las firmas utilizan las normas ISA como una base para luego añadir sus propias modificaciones de acuerdo a sus necesidades.

Normas ISA aplicables a DTI's

No hay "norma" DTI o acuerdo en la información que debe ser incluida o excluida de tales documentos.

Las normas ISA ANSI/ISA-5.1-1984 (R1992) y ISA-5.3-1983 son las guías generalmente más aceptables para desarrollar simbolismo para instrumentación y sistemas de control en: las industrias químicas y petroquímica, generación de energía, pulpa y papel, refinación, metales, aire acondicionado, etc. y pueden ser utilizadas en procesos continuos, por lotes y discretos.

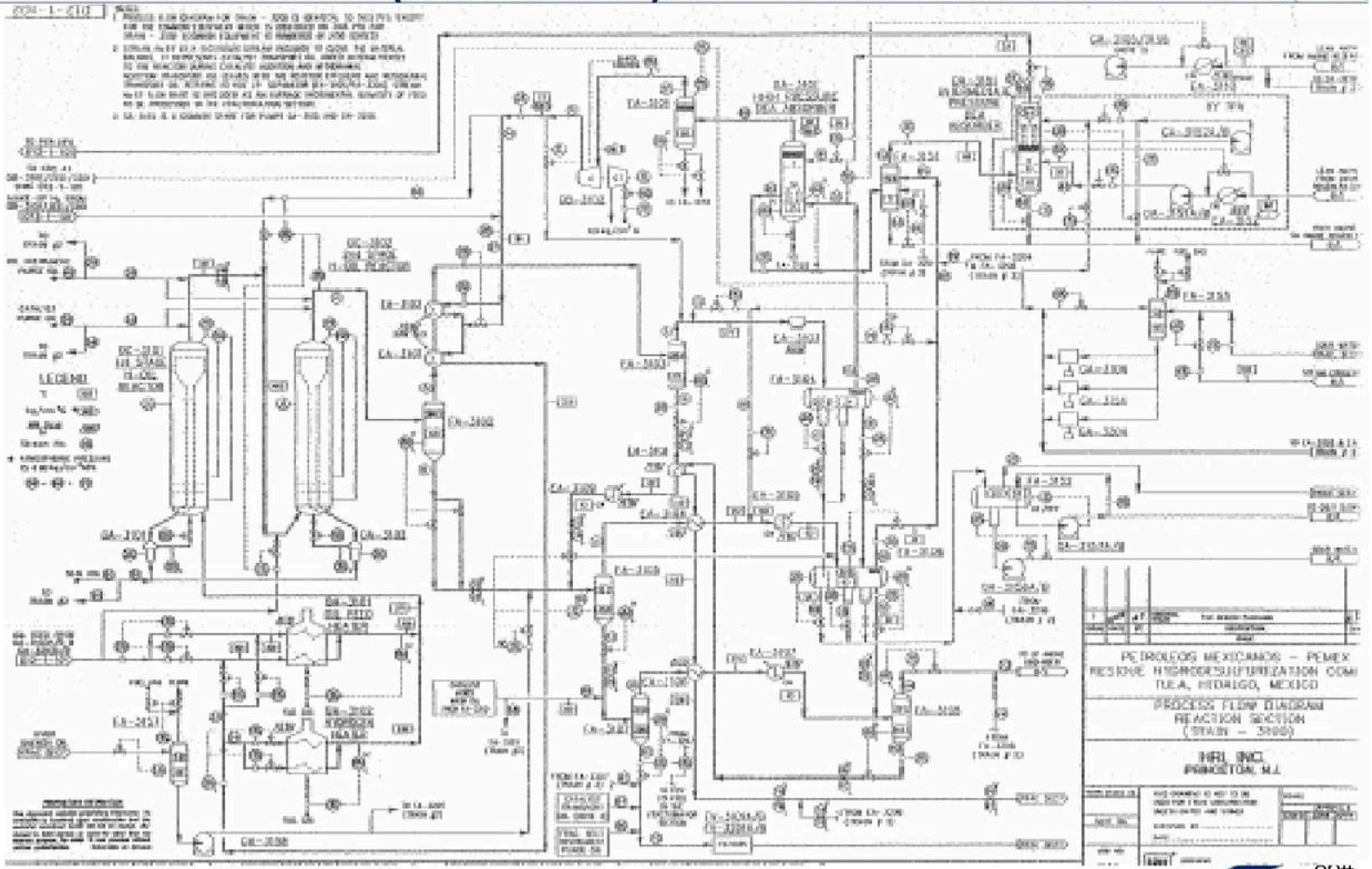
Normas ISA aplicables a DTI's

- ANSI/ISA-S5.1-1984 (R1992), Identificación y símbolos de instrumentación.
- ANSI/ISA-S5.2-1976 (R1992), Diagramas lógicos binarios para operaciones de proceso.
- ISA-S5.3-1983, Símbolos gráficos para control distribuido, instrumentación de desplegados compartidos, sistemas lógicos y computarizados.
- ANSI/ISA-S5.4-1991, Diagramas de lazo de instrumentación.
- ANSI/ISA S5.5-1985, Símbolos gráficos para desplegados de proceso.

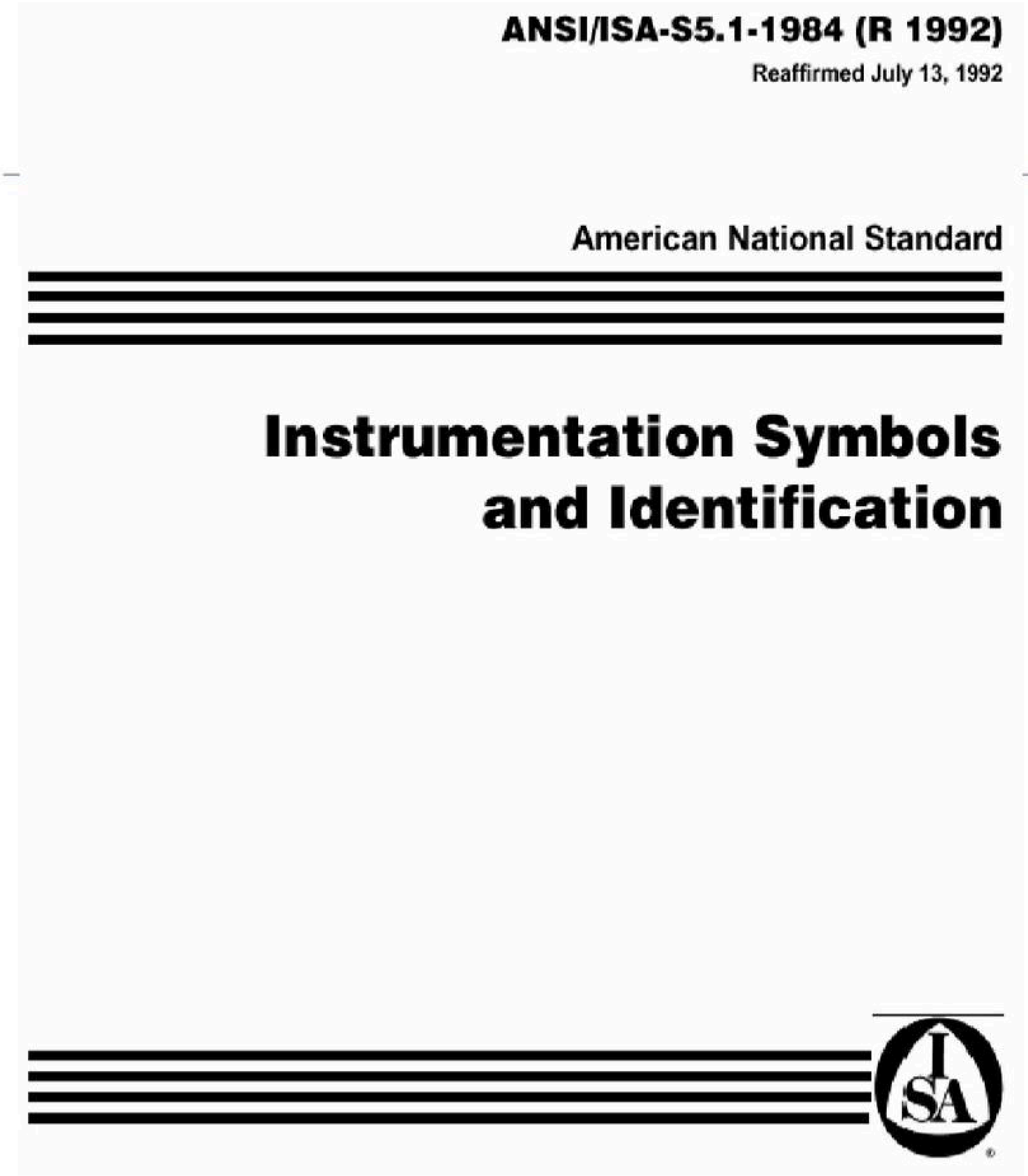
Otras normas de simbología

- ASA Y32.11-1961 – Símbolos gráficos para diagramas de flujo de proceso en las industrias del petróleo y química (ASME).
- ASA Z32.2.3-1949 – Símbolos gráficos para accesorios de tubería, válvulas y tubería (ASME)
- ANSI Y14.15.a-1971 Sección 15-11 Interconexión de diagramas (ASME)
- IEEE Std 315-1975 (ANSI Y32.2 1975) (CSA Z99 1975) Símbolos gráficos para diagramas eléctricos y electrónicos (IEEE)
- ANSI/IEEE Std 315A-1986 (IEEE)

Diagrama de tubería e instrumentación (DTI ó P&I)


PETROLEOS MEXICANOS - PEMEX
RESIDUE HYDRODESULFURIZATION COM
TULA, HIDALGO, MEXICO
PROCESS FLOW DIAGRAM
REACTION SECTION
(TRAIN - 3000)
HRI INC.
PRINCETON, N.J.
LEGEND

SIMBOLOGÍA



ANSI/ISA-S5.1-1984 (R 1992)
Reaffirmed July 13, 1992

American National Standard

Instrumentation Symbols and Identification

Contenido de la norma ANSI/ISA S5.1-1984

1. Propósito.
2. Alcance.
3. Definiciones.
4. Reglas de identificación de instrumentos.
5. Tablas.
6. Dibujos.

1. Propósito

Establecer un significado normativo de los instrumentos y sistemas de instrumentación utilizados para la medición y el control, incluyendo símbolos y códigos de identificación.

2. Alcance

1. Generalidades.
2. Aplicación a industrias.
3. Aplicación a actividades de trabajo.
4. Aplicación a diferentes tipos de instrumentación y a funciones de instrumentos.
5. Extensión de identificaciones funcionales.
6. Extensión de identificaciones de lazos.

Aplicación a Industrias

La norma esta disponible para utilizarse en industria química, del petróleo, generación de potencia, acondicionamiento de aire y cualquier industria de procesos, y se espera que la norma tenga la suficiente flexibilidad para manejar muchas de las necesidades de algunos campos como la astronomía, navegación y medicina que utilizan instrumentación diferente de los instrumentos convencionales de proceso.

Aplicación a actividades de trabajo

La norma esta disponible para utilizarse en cualquier referencia de simbolización e identificación de un instrumento o de alguna función de control. Tales referencias pueden ser requeridas para:

-Diagramas de diseño y construcción,
-Literatura, discusiones y artículos técnicos,
-Diagramas de sistemas de instrumentación, diagramas de lazos y diagramas lógicos,
-Descripciones funcionales,
-Diagramas de flujo de: procesos, mecánicos, de ingeniería, de tubería e instrumentación (DTI o P&I),
-Especificaciones, ordenes de compra, etc.

Aplicación a funciones de instrumentos y a clases de instrumentación

Los métodos de identificación y simbolismos proporcionados por la norma se aplican a todas las clases de instrumentación de control y medición de procesos.

La norma no solo puede utilizarse para describir instrumentos digitales y sus funciones, sino también para describir las funciones analógicas de los sistemas, como por ejemplo: control compartido , control distribuido y control basado en computadora.

Extensión de identificación funcional y de lazo

La norma proporciona la identificación y simbolización de las funciones clave de un instrumento, es decir, son funciones generalizadas, así que cuando se requieren detalles adicionales del instrumento, es conveniente recurrir a la hoja de especificación del instrumento o algún otro documento para cubrir la especificación detallada.

La norma cubre la identificación de un instrumento y todos las funciones de control asociadas con un lazo de control.

3. Definiciones

Para propósitos de conocimiento de la norma, es conveniente analizar algunas definiciones:

Alarma. Un dispositivo o función que señala la existencia de una condición anormal por medio de un cambio discreto visible o audible, o ambos, con el fin de llamar la atención.
Automatización. Es el acto o método de hacer que un proceso funcione sin la necesidad de la intervención de un operador.
Banda Muerta. Rango a través del cual puede variar la señal de entrada, hacia un dispositivo, sin éste inicie una respuesta. Generalmente se expresa como un porcentaje del rango de operación.
Binario. Término aplicado a una señal que sólo tiene dos estados o posiciones discretas (on-off, alto-bajo, etc).

Definiciones

Círculo. Símbolo utilizado para denotar e identificar el propósito o función de un instrumento y puede contener un número de identificación (ballon, bubble)

Configurable. Término aplicado a un dispositivo o sistema en el que sus características pueden ser seleccionadas o rearregladas a través de programación o algún otro método.

Controlador. Un dispositivo que tiene una salida que varía para regular una variable controlada de una manera específica y puede ser un dispositivo analógico o digital. Un controlador automático varía su salida automáticamente, en respuesta a una entrada directa o indirecta de una variable de proceso medida.

Definiciones

Controlador compartido. Un controlador que contiene algoritmos preprogramados que son usualmente accesibles, configurables y asignables y permite un número de variables de proceso a ser controladas por un solo dispositivo.

Controlador Lógico Programable (PLC). Un controlador, usualmente con entradas y salidas múltiples, que contiene un programa que se puede alterar.

Convertidor. Un dispositivo que recibe información en alguna forma de señal y transmite una señal de salida en alguna otra forma. El convertidor también se le llama transductor, aunque el término transductor no se recomienda utilizarse para conversión de señales.

Corrimiento. Cualquier cambio paralelo de la curva de entrada -salida.

Definiciones

Digital. Término aplicado a una señal o dispositivo que utiliza dígitos binarios para representar valores continuos o estados discretos.

Dispositivo de cómputo. Un dispositivo o función que ejecuta uno o más cálculos u operaciones lógicas, o ambas, y transmite uno o mas señales de salida resultantes. Es también llamado relevador de cómputo.

Elemento Final de Control. Dispositivo que cambia el valor de la variable manipulada directamente de un lazo de control.

Elemento Primario. Parte de un instrumento o un lazo, que detecta el valor de una variable de proceso, o que asume un estado o salida predeterminada. El elemento primario puede estar separado o integrado con otro elemento funcional de un circuito, también se le conoce como detector o sensor.

Definiciones

Estación de Control. Estación manual de carga que también proporciona la transferencia entre los modos de control automático y manual de un circuito de control. Se conoce también como estación automático y manual.

Estación Manual de Carga. Dispositivo que cuenta con una salida ajustable manualmente que se usa para actuar uno o más dispositivos remotos, pero que no puede ser usada para transferir entre los modos de control automático y manual de un circuito de control.

Error. Es la diferencia algebraica entre la indicación actual y el valor verdadero de una magnitud medida. A menudo expresado como un porcentaje del **SPAN** O del valor a escala total. Los valores positivos del error denotan la indicación del instrumento es más grande que el valor real.

Definiciones

Exactitud. Límites dentro de los cuales puede variar el valor establecido de una propiedad del proceso con respecto a su valor. Esta se expresa generalmente en un porcentaje de la escala total.

Frecuencia Natural. Frecuencia a la cual el sensor, bajo condiciones de carga resonará con algunas fuentes de frecuencia externa.

Función. Propósito de o acción realizada por un dispositivo.

Histéresis. La diferencia en la señal de medición para un valor dado de una variable de proceso cuando se alcanza primero desde una carga cero y después desde la escala total.

Definiciones

Identificación. Secuencia de letras y/o dígitos usados para designar un instrumento individual o un circuito.

Instrumento. Dispositivo utilizado para medir y/o controlar una variable directa o indirectamente. El término incluye elementos primarios, finales, dispositivos de cómputo y dispositivos eléctricos como alarmas, interruptores y botones de paro.

Instrumentación. Es la rama de la ingeniería involucrada con la aplicación de los instrumentos a un proceso industrial para medir o controlar alguna variable y es referida a todos los instrumentos para cumplir este propósito.

Definiciones

Interruptor. Dispositivo que conecta, desconecta o transfiere uno o más circuitos, y que no es designado como controlador, un revelador o una válvula de control. El interruptor es un dispositivo que (I mide (I la variable y opera (abre o cierra) cuando ésta alcanza un valor predeterminado.

Lazo. Combinación de dos o mas instrumentos o funciones de control arregladas para el propósito de medir y/o controlar una variable de proceso

Linealidad. Se define como la desviación máxima a partir de una línea recta que une el valor de la señal de medición a carga cero con la señal de medición a una carga dada.

Local. Localización de un instrumento que no esta en el tablero ni atrás del tablero. Los instrumentos locales están comúnmente en la vecindad de un elemento final de control.

Definiciones

Longitud de Inmersión. Longitud desde el extremo libre del pozo o bulbo al punto de inmersión en el medio al cual se está midiendo la temperatura.

Luz Piloto. Luz que indica un número de control normales de un sistema o dispositivo. También se le conoce como luz monitora.

Medición. Determinación de la existencia o magnitud de una variable. Los instrumentos de medición incluyen todos los dispositivos usados directa o indirectamente para este propósito.

Modos de Control. Método con el cual un controlador contrarresta la desviación de una señal de su punto de ajuste.

Definiciones

Montado en Tablero. Término aplicado a un instrumento que esta montado en el panel frontal del tablero y que es accesible al operador para su uso normal.

Parte posterior del tablero. Término aplicado al área que se encuentra atrás del tablero y que contiene los instrumentos que no es necesario que se encuentren accesibles al operador para su uso normal.

Proceso. Cualquier operación o secuencia de operaciones que involucre un cambio de estado, de energía, de composición, de dimensión de otra propiedad que puede definirse con respecto a un dato.

Programa. Secuencia repetida de acciones que definen el estado de las salidas en relación a un conjunto de entradas.

Definiciones

Punto de Ajuste. (Set -Point, SP) magnitud predeterminada de una variable de proceso que el controlador trata de mantener.

Punto de Prueba. Conexión de proceso en la cual no hay instrumento conectado permanentemente, pero la cual está colocada para usarse temporal o permanentemente para la conexión futura de un instrumento.

Rango. Región entre cuyos límites una cantidad se mide, recibe o transmite.

Rango de Operación. (SPAN) Diferencia algebraica entre los valores de más bajo y más alto rango.

Rango Compensado de Temperatura. Rango de temperaturas sobre el cual el sensor se compensa para mantener el rango de operación y el balance del cero dentro de los límites especificados.

Definiciones

Rangeabilidad. La relación entre los valores de más alto y más bajo rango.

Relevador. Dispositivo que recibe información en la forma de una o más señales de instrumento, modifica la información o su forma o ambas si se requiere, envía una o más señales resultantes y no es designado como controlador, interruptor o algún otro, el término relevador se aplica especialmente también a un interruptor eléctrico que es actuado remotamente por una señal eléctrica.

Reluctancia. Oposición que presenta una sustancia magnética al flujo magnético. Se expresa como la relación de la diferencia de potencial magnético, al flujo correspondiente.

Definiciones

Repetibilidad. La capacidad de un instrumento de generar una señal de medición cuya magnitud permanecerá dentro de los límites establecidos de repetibilidad bajo idénticas condiciones de proceso sucediendo en tiempos diferentes.

Resolución. El cambio más pequeño en la variable de proceso que produce un cambio detectable en la señal de medición expresado en porcentaje de la escala total.

Respuesta. Comportamiento de la salida de un dispositivo como función de la entrada, ambos con respecto al tiempo.

Reproducibilidad. La exactitud con que un a medición y otra condición puede ser duplicada a través de un periodo de tiempo.

Ruido. Perturbaciones externas o cualquier otra señal que no aporta información.

Definiciones

Sistema de control distribuido. Un sistema integrado funcionalmente que consiste de subsistemas separados físicamente y localizados remotamente uno de otro.

Sensitividad. (Sensibilidad) La razón de cambio en la salida causada por un cambio en la entrada, después que se ha alcanzado el estado estacionario. Se expresa como la relación numérica en unidades de medición de las dos cantidades establecidas.

Señal. Información que en forma neumática, eléctrica, digital o mecánica, se transmite de un componente de un circuito de instrumentación a otro.

Tablero. Una estructura que contiene un grupo de instrumentos montados en él y al cual se le da una designación individual. Pueden consistir de una o más

Definiciones

casillas, secciones escritorios o paneles. Es el punto de interfase entre el proceso y el operador.

Telemetría. La práctica de transmitir y recibir la medición de una variable para lectura u otros. El término se aplica comúnmente a sistemas de señal.

Termistor. Resistor eléctrico cuya resistencia varia con la temperatura.

Tiempo de Respuesta. Intervalo de tiempo requerido para que la señal de "-~ medición de un detector alcance un porcentaje especifico de su valor final como
resultado de un cambio de escalón en la variable de proceso.

Tiempo Muerto. Intervalo de tiempo entre la iniciación de un cambio en la entrada y el comienzo de la respuesta resultante.

Definiciones

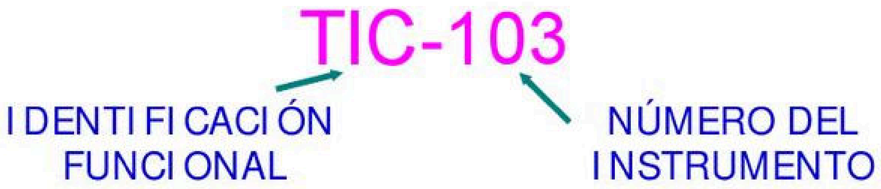
Transmisor. Dispositivo que detecta el valor de una variable de proceso por medio de un elemento primario (o sensor) y que tiene una salida cuyo valor de estado estacionario varia sólo como una función predeterminada de la variable de proceso. Elemento primario puede o no ser integral al transmisor.

Válvula de Control. Elemento final de control, a través del cual, un fluido pasa, que ajusta la magnitud del flujo de dicho mediante cambios en el tamaño de su abertura y de acuerdo con la señal que recibe del controlador, y así lograr la acción correctiva necesaria.

Variable. Cualquier fenómeno que no es de estado necesario sino que involucra condiciones continuamente cambiantes.

Reglas para la identificación de instrumentos

a) Cada instrumento o función a ser identificado se le designa un código alfanumérico o número de identificación:



TIC-103

IDENTIFICACIÓN FUNCIONAL

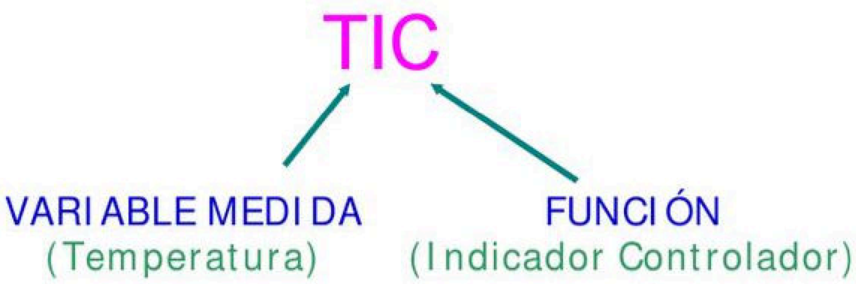
NÚMERO DEL INSTRUMENTO

b) El número del instrumento puede incluir información del código de área o series específicas. Normalmente la serie 900 a 99 puede ser utilizada para instrumentos relacionados con seguridad.

c) Cada instrumento puede representarse en un diagrama por un símbolo que puede acompañarse con una identificación.

Reglas para la identificación de instrumentos

d) La identificación funcional del instrumento consiste de letras de acuerdo a la tabla, en donde la primer letra designa la variable inicial o medida y una o mas letras subsecuentes identifican la función del instrumento.

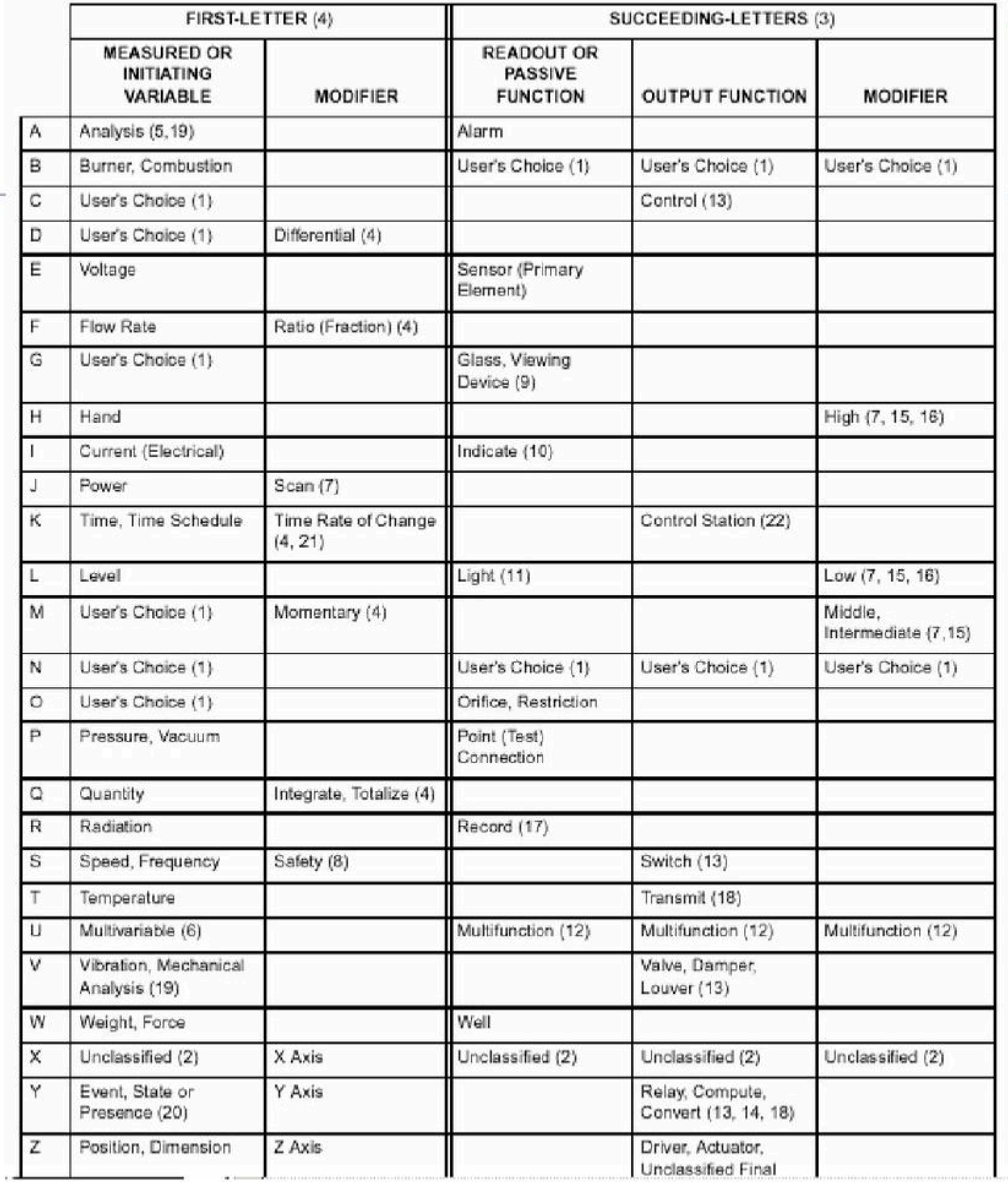


TIC

VARIABLE MEDIDA
(Temperatura)

FUNCIÓN
(Indicador Controlador)

Identificación de instrumentos



	FIRST-LETTER (4)		SUCCEEDING-LETTERS (3)		
	MEASURED OR INITIATING VARIABLE	MODIFIER	READOUT OR PASSIVE FUNCTION	OUTPUT FUNCTION	MODIFIER
A	Analysis (5,19)		Alarm		
B	Burner, Combustion		User's Choice (1)	User's Choice (1)	User's Choice (1)
C	User's Choice (1)			Control (13)	
D	User's Choice (1)	Differential (4)			
E	Voltage		Sensor (Primary Element)		
F	Flow Rate	Ratio (Fraction) (4)			
G	User's Choice (1)		Glass, Viewing Device (9)		
H	Hand				High (7, 15, 16)
I	Current (Electrical)		Indicate (10)		
J	Power	Scan (7)			
K	Time, Time Schedule	Time Rate of Change (4, 21)		Control Station (22)	
L	Level		Light (11)		Low (7, 15, 16)
M	User's Choice (1)	Momentary (4)			Middle, Intermediate (7,15)
N	User's Choice (1)		User's Choice (1)	User's Choice (1)	User's Choice (1)
O	User's Choice (1)		Orifice, Restriction		
P	Pressure, Vacuum		Point (Test) Connection		
Q	Quantity	Integrate, Totalize (4)			
R	Radiation		Record (17)		
S	Speed, Frequency	Safety (8)		Switch (13)	
T	Temperature			Transmit (18)	
U	Multivariable (6)		Multifunction (12)	Multifunction (12)	Multifunction (12)
V	Vibration, Mechanical Analysis (19)			Valve, Damper, Louver (13)	
W	Weight, Force		Well		
X	Unclassified (2)	X Axis	Unclassified (2)	Unclassified (2)	Unclassified (2)
Y	Event, State or Presence (20)	Y Axis		Relay, Compute, Convert (13, 14, 18)	
Z	Position, Dimension	Z Axis		Driver, Actuator, Unclassified Final	

Combinaciones en la identificación

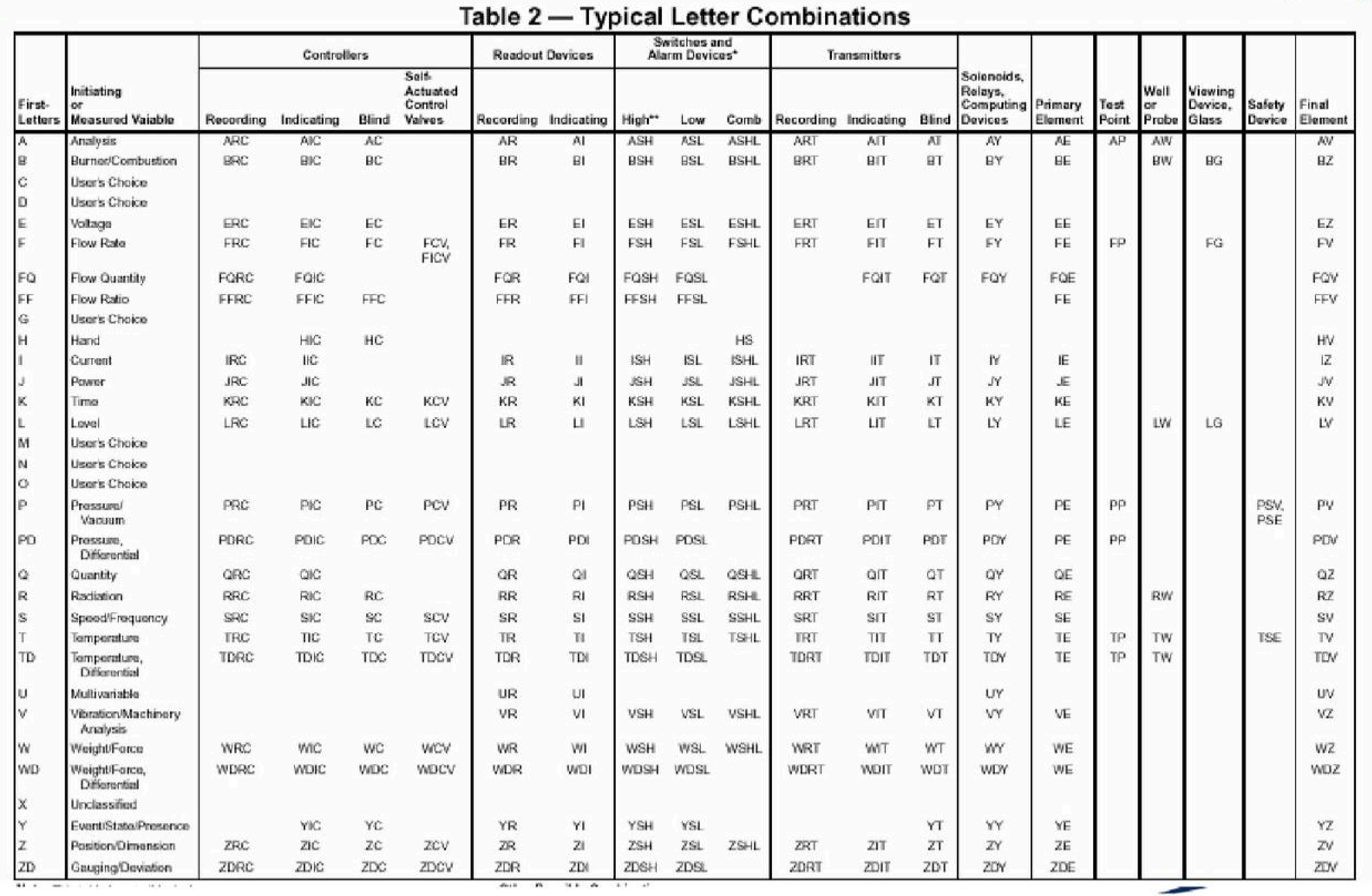


Table 2 — Typical Letter Combinations

First-Letters	Initiating or Measured Vaiable	Controllers				Readout Devices		Switches and Alarm Devices*			Transmitters			Solenoids, Relays, Computing Devices	Primary Element	Test Point	Well or Probe	Viewing Device, Glass	Safety Device	Final Element
		Recording	Indicating	Blind	Self-Actuated Control Valves	Recording	Indicating	High**	Low	Comb	Recording	Indicating	Blind							
A	Analysis	ARC	AIC	AC		AR	AI	ASH	ASL	ASHL	ART	AIT	AT	AY	AE	AP	AW			AV
B	Burner/Combustion	BRC	BIC	BC		BR	BI	BSH	BSL	BSHL	BRT	BIT	BT	BY	BE		BW	BG		BZ
C	User's Choice																			
D	User's Choice																			
E	Voltage	ERC	EIC	EC		ER	EI	ESH	ESL	ESHL	ERT	EIT	ET	EY	EE					EZ
F	Flow Rate	FRC	FIC	FC	FCV, FICV	FR	FI	FSH	FSL	FSHL	FRT	FIT	FT	FY	FE	FP		FG		FV
FQ	Flow Quantity	FQRC	FQIC			FQR	FQI	FQSH	FQSL			FQIT	FQT	FQY	FQE					FQV
FF	Flow Ratio	FFRC	FFIC	FFC		FFR	FFI	FFSH	FFSL						FE					FFV
G	User's Choice																			
H	Hand		HIC	HC						HS										HV
I	Current	IRC	IIC			IR	II	ISH	ISL	ISHL	IRT	IIT	IT	IY	IE					IZ
J	Power	JRC	JIC			JR	JI	JSH	JSL	JSHL	JRT	JIT	JT	JY	JE					JV
K	Time	KRC	KIC	KC	KCV	KR	KI	KSH	KSL	KSHL	KRT	KIT	KT	KY	KE					KV
L	Level	LRC	LIC	LC	LCV	LR	LI	LSH	LSL	LSHL	LRT	LIT	LT	LY	LE		LW	LG		LV
M	User's Choice																			
N	User's Choice																			
O	User's Choice																			
P	Pressure/ Vacuum	PRC	PIC	PC	PCV	PR	PI	PSH	PSL	PSHL	PRT	PIT	PT	PY	PE	PP			PSV, PSE	PV
PD	Pressure, Differential	PDRC	PDIC	PDC	PDCV	PDR	PDI	PDSH	PDSL		PDRT	PDIT	PDT	PDY	PE	PP				PDV
Q	Quantity	QRC	QIC			QR	QI	QSH	QSL	QSHL	QRT	QIT	QT	QY	QE					QZ
R	Radiation	RRC	RIC	RC		RR	RI	RSH	RSL	RSHL	RRT	RIT	RT	RY	RE		RW			RZ
S	Speed/Frequency	SRC	SIC	SC	SCV	SR	SI	SSH	SSL	SSHL	SRT	SIT	ST	SY	SE					SV
T	Temperature	TRC	TIC	TC	TCV	TR	TI	TSH	TSL	TSHL	TRT	TIT	TT	TY	TE	TP	TW		TSE	TV
TD	Temperature, Differential	TDRC	TDIC	TDC	TDCV	TDR	TDI	TDSH	TDSL		TDRT	TDIT	TDT	TDY	TE	TP	TW			TDV
U	Multivariable					UR	UI							UY						UV
V	Vibration/Machinery Analysis					VR	VI	VSH	VSL	VSHL	VRT	VIT	VT	VY	VE					VZ
W	Weight/Force	WRC	WIC	WC	WCV	WR	WI	WSH	WSL	WSHL	WRT	WIT	WT	WY	WE					WZ
WD	Weight/Force, Differential	WDRC	WDIC	WDC	WDCV	WDR	WDI	WDSH	WDSL		WDRT	WDIT	WDT	WDY	WE					WDZ
X	Unclassified																			
Y	Event/State/Presence		YIC	YC		YR	YI	YSH	YSL				YT	YY	YE					YZ
Z	Position/Dimension	ZRC	ZIC	ZC	ZCV	ZR	ZI	ZSH	ZSL	ZSHL	ZRT	ZIT	ZT	ZY	ZE					ZV
ZD	Gauging/Deviation	ZDRC	ZDIC	ZDC	ZDCV	ZDR	ZDI	ZDSH	ZDSL		ZDRT	ZDIT	ZDT	ZDY	ZDE					ZDV

Reglas para la identificación de instrumentos

e) La identificación funcional del instrumento se realiza de acuerdo a la función y no a la construcción (por ejemplo, un transmisor de nivel LT en lugar de un transmisor de presión diferencial PDT).

f) El número de letras utilizado debe ser el mínimo para describir al instrumento.

g) Un instrumento multifuncional puede ser simbolizado por más de un instrumento.

Notas para la identificación de instrumentos

1. Para cubrir las designaciones no normalizadas que pueden emplearse repetidamente en un proyecto se han previsto letras libres. Estas letras pueden tener un significado como primera letra y otro como letra sucesiva. Por ejemplo, la letra N puede representar como primera letra el modelo de elasticidad y como sucesiva un osciloscopio.

2.La letra sin clasificar X, puede emplearse en las designaciones no indicadas que se utilizan solo una vez o un numero limitado de veces. Se recomienda que su significado figura en el exterior del circulo de identificación del instrumento. Ejemplo XR-3 Registrador de Vibración.

Notas para la identificación de instrumentos

3. Cualquier letra primera se utiliza con las letras de modificación D (diferencial), F (relación) o Q (interpretación) o cualquier combinación de las mismas cambia su significado para representar una nueva variable medida. Por ejemplo, los instrumentos TDI y TI miden dos variables distintas, la temperatura diferencial y la temperatura, respectivamente.

4.La letra A para análisis, abarca todos los análisis no indicados en la tabla anterior que no están cubiertos por una letra libre. Es conveniente definir el tipo de análisis al lado del símbolo en el diagrama de proceso.

Notas para la identificación de instrumentos

5.El empleo de la letra U como multivariable en lugar de una combinación de primera letra, es opcional.

6.El empleo de los términos de modificaciones alto, medio, bajo, medio o intermedio y exploración, es opcional.

7.El termino seguridad, debe aplicarse solo a elementos primarios y a elementos finales de control que protejan contra condiciones de emergencia (peligrosas para el equipo o el personal). La designación PSV se aplica a todas las válvulas proyectadas para proteger contra condiciones de emergencia de presión sin tener en cuenta las características de la válvula y la forma de trabajo la colocan en la categoría de válvula de seguridad, válvula de alivio o válvula de seguridad de alivio.

Notas para la identificación de instrumentos

8. La letra de función pasiva vidrio, se aplica a los instrumentos que proporciona una visión directa no calibrada del proceso.

9. La letra indicación se refiere a la lectura de una medida real de proceso, No se aplica a la escala de ajuste manual de la variable si no hay indicación de ésta.

10. Una luz piloto que es parte de un bucle de control debe designarse por una primera letra seguida de la letra sucesiva I.
11. El empleo de la letra U como multifunción en lugar de una combinación de otras letras es opcional.

Notas para la identificación de instrumentos

12. Se supone que las funciones asociadas con el uso de la letra sucesiva Y se definirán en el exterior del símbolo del instrumento cuando sea conveniente hacerlo así.

13. Los términos alto, bajo y medio o intermedio deben corresponder a valores de la variable medida, no a los de la señal a menos que se indique de otro modo. Por ejemplo, una alarma de nivel alto derivada de una señal de un transmisor de nivel de acción inversa debe designarse LAH incluso aunque la alarma sea actuada cuando la señal cae a un valor bajo.

Notas para la identificación de instrumentos

14.Los términos alto y bajo, cuando se aplican a válvulas, o a otros dispositivos de cierre apertura, se definen como sigue:

Alto: indica que la válvula esta, o se aproxima a la posición de apertura completa.

Bajo: Denota que se acerca o esta en la posición completamente cerrada.

Ejercicio 1

Efectuar la identificación funcional de los siguientes instrumentos:

a) LIC
b) PY
c) FV
d) FQI
e) WT
f) TE
g) AIC
h) SR
i) TAHH
j) LSL

Ejercicio 2

Indicar los códigos alfanuméricos de los siguientes instrumentos:

a) Registrador de temperatura
b) Convertidor electroneumático de presión
c) Interruptor por bajo nivel de flujo
d) Totalizador de flujo
e) Indicador de velocidad
f) Termopozo de temperatura
g) Controlador de presión
h) Válvula de control de análisis
i) Alarma por muy alta presión
j) Relevador de presión

Tips para numeración de instrumentos

- Utilizar un número básico si el proyecto es pequeño y no hay números de área, unidad o planta:
  - Número básico FT-2 o FT-02 o FT-002
- Si el proyecto tiene pocas áreas, unidades o plantas (9 o menos), utilizar el primer dígito del número de la planta como el tag:
  - FT-102 (1 = número de área, unidad, o planta)
- Si el proyecto es divido en áreas, unidades o plantas:
  - FT-102
  - FT-1102
  - FT-111002

Tips para numeración de instrumentos

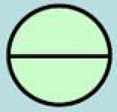
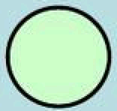
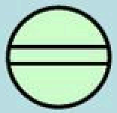
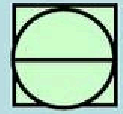
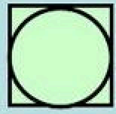
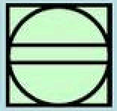
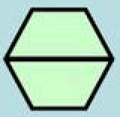
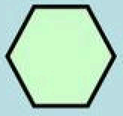
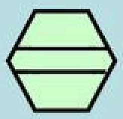
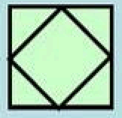
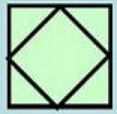
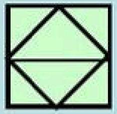
- Algunos proyectos utilizan una secuencia numérica para cada variable de proceso:
  - FIC-001, FIC-002, FIC-003, etc.
  - LIC-001, LIC-002, LIC-003, etc.
  - PIC-001, PIC-002, etc.

- Algunos proyectos predeterminan bloques de números:
  - Para indicadores, PI-100 a 300 o TI-301 a 400
  - Para dispositivos de seguridad, PSV-900 a 999

Tips para numeración de instrumentos

- Algunos proyectos utilizan una secuencia numérica recta:
  - FT-1, FIC-1, FV-1
  - LT-2, LIC-2, LV-2
  - FT-3, FR-3
- La mayoría de los proyectos utilizan los sufijos A y B si dos instrumentos en el mismo lazo tienen identificaciones idénticas:
  - PV-006A, PV-006B

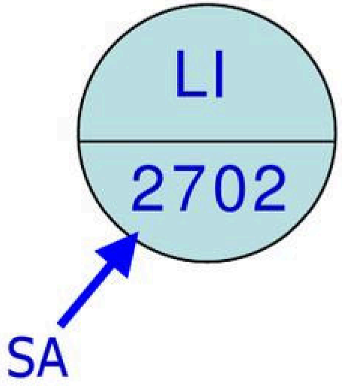
Símbolos generales de instrumentos

	LOCALIZACIÓN PRIMARIA * NORMALMENTE ACCESIBLE AL OPERADOR**	**MONTADO EN CAMPO**	**LOCALIZACIÓN AUXILIAR *** NORMALMENTE ACCESIBLE AL OPERADOR**
INSTRUMENTOS DISCRETOS	1 	2 	3 
MONITOREO COMPARTIDO CONTROL COMPARTIDO	4 	5 	6 
FUNCIÓN DE COMPUTO	7 	8 	9 
CONTROL LÓGICO PROGRAMABLE	10 	11 	12 

Símbolos de instrumentos

SUMINISTROS

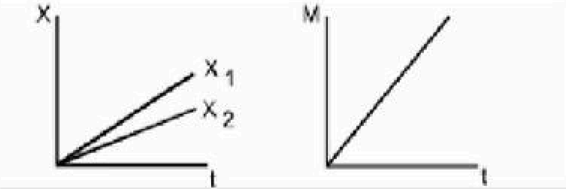
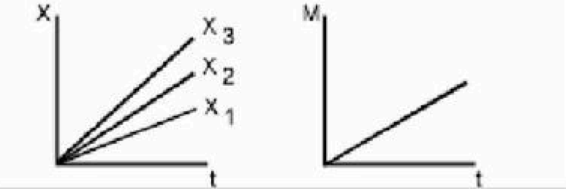
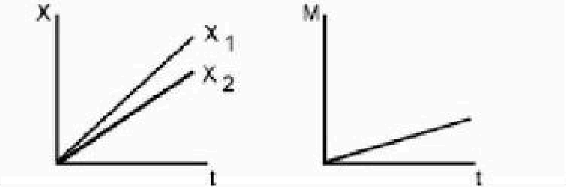
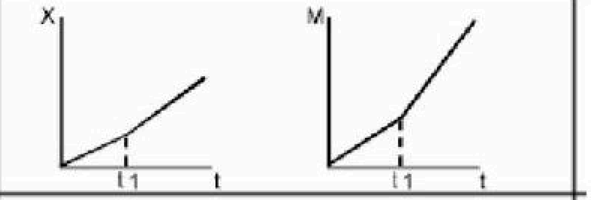
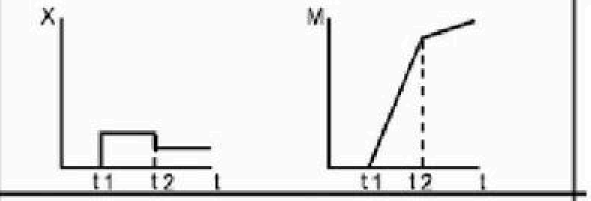
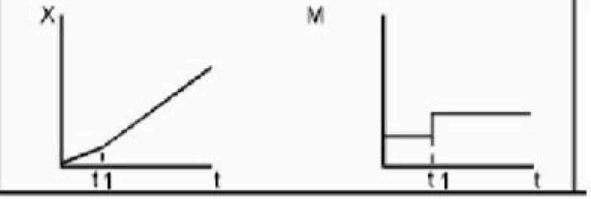
SA	Suministro de aire
SE	Suministro eléctrico
SG	Suministro de gas
SH	Suministro hidráulico
SN	Suministro de nitrógeno
SS	Suministro de vapor
SW	Suministro de agua



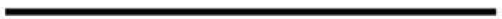
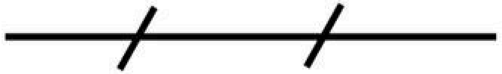
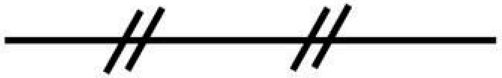
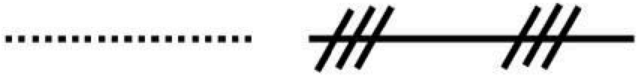
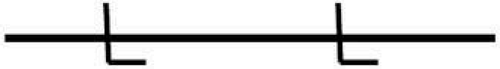
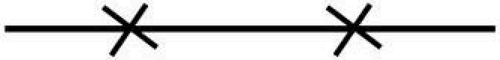
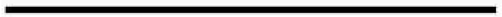
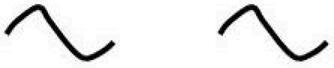
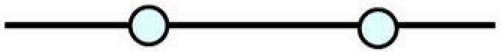
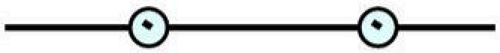
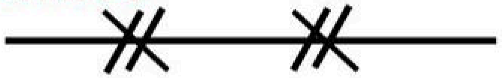
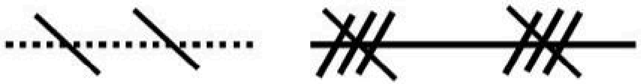
LOCALIZACIÓN

PP	En línea de proceso
LO	En campo, local
PNB	En tablero principal de control
BPNB	Parte posterior del tablero
PNBL	En tablero de control local

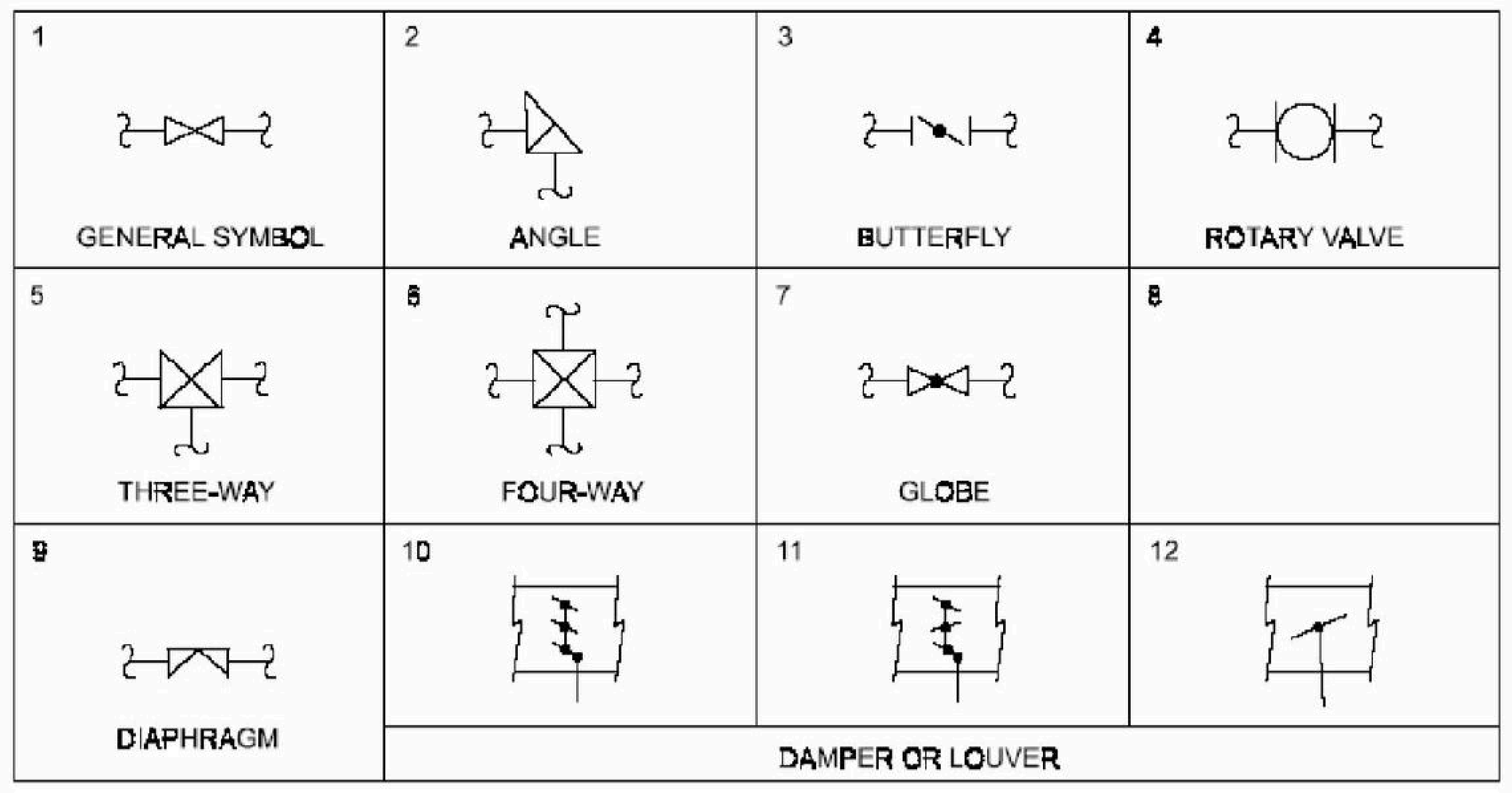
Bloques de funciones de instrumentos

1	**SUMA**	Σ	$M = X_1 + X_2 + \dots + X_n$	
2	**PROMEDIO**	Σ/n	$M = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$	
3	**DIFERENCIA**	Δ	$M = X_1 - X_2$	
4	**PROPORCIONAL**	K 1:1 2:1	$M = KX$	
5	**INTEGRAL**	∫	$M = \frac{1}{T_I} \int X dt$	
6	**DERIVATIVO**	d/dt	$M = T_D \frac{dX}{dt}$	

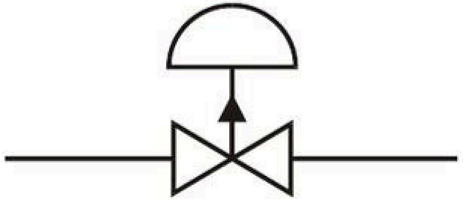
Simbología de líneas en los diagramas

(1) SUMINISTRO A PROCESO * O CONEXIÓN A PROCESO	
(2) SEÑAL NO DEFINIDA	
(3) SEÑAL NEUMÁTICA **	
(4) SEÑAL ELÉCTRICA	
(5) SEÑAL HIDRAÚLICA	
(6) TUBO CAPILAR	
(7) SEÑAL SÓNICA O ELECTROMAGNÉTICA (GUÍADA)***	
(8) SEÑAL SÓNICA O ELECTROMAGNÉTICA (NO GUÍADA)***	
(9) LÍNEA DE SISTEMA INTERNO (LÍNEA DE DATOS O DE SOFTWARE)	
(10) LINEA MECÁNICA	
SÍMBOLOS BINARIOS OPCIONALES	
(11) SEÑAL NEUMÁTICA BINARIA	
(12) SEÑAL BINARIA ELÉCTRICA	

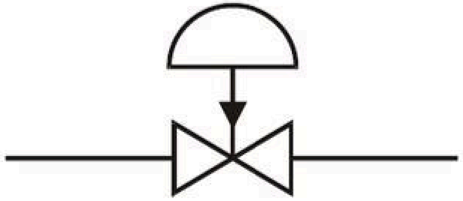
Simbología de válvulas


1
GENERAL SYMBOL
2
ANGLE
3
BUTTERFLY
4
ROTARY VALVE
5
THREE-WAY
6
FOUR-WAY
7
GLOBE
8
9
DIAPHRAGM
10
11
12
DAMPER OR LOUVER

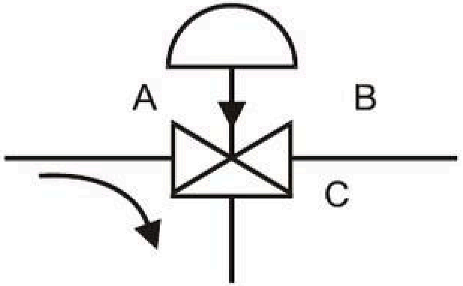
Acción del actuador a falla de energía



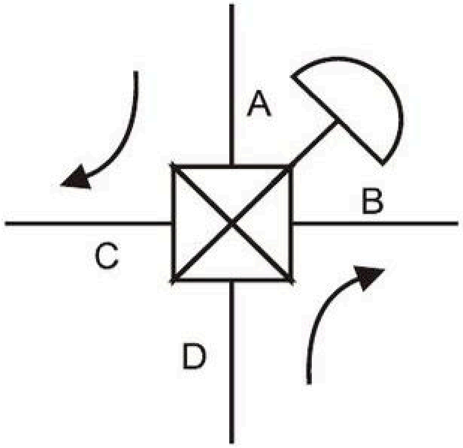
ABRE A FALLA



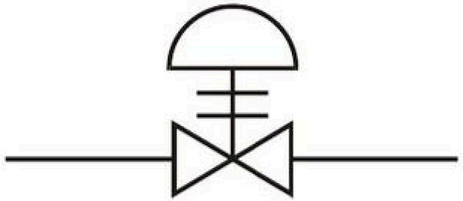
CIERRA A FALLA



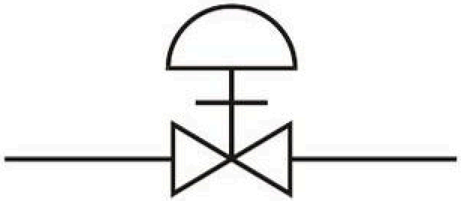
CIERRA A FALLA
F A VÍA A-C



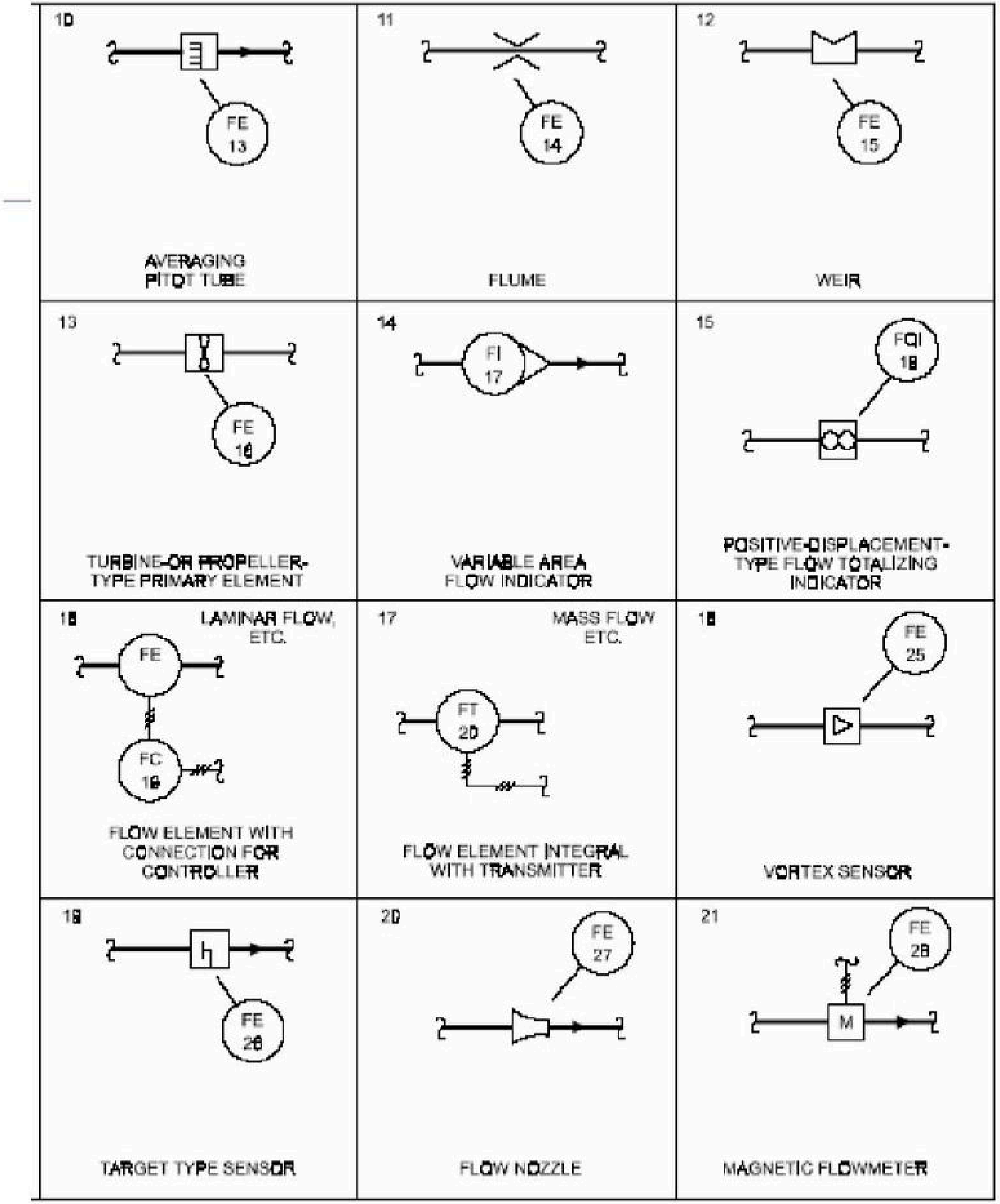
ABRE A FALLA
F VÍAS A-C Y D-B HS



SE BLOQUEA A FALLA
(LA POSICIÓN NO CAMBIA)

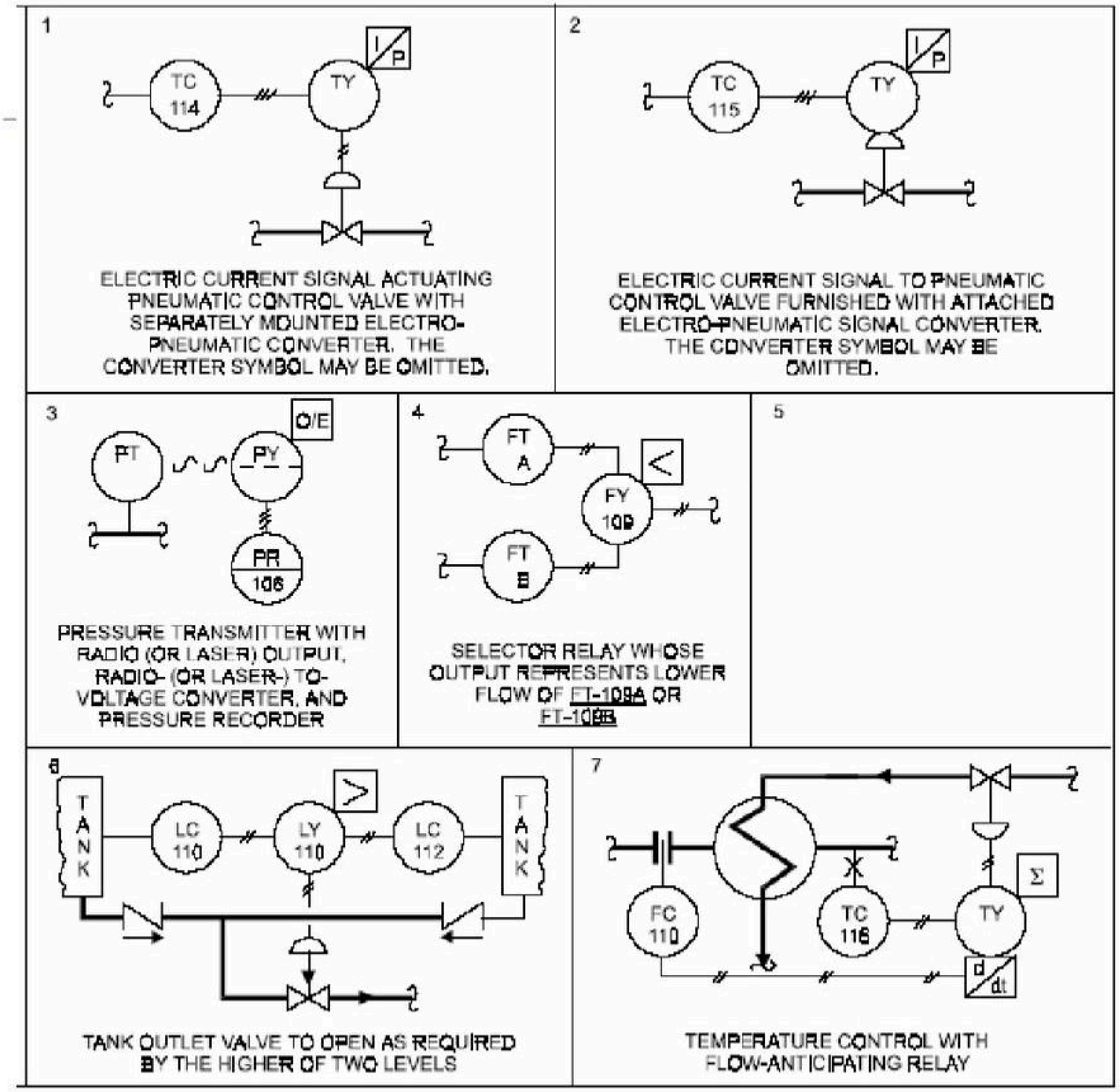


POSICIÓN INDETERMINADA
A FALLA


10
FE 13
AVERAGING PITOT TUBE
11
FE 14
FLUME
12
FE 15
WEIR
13
FE 16
TURBINE-OR PROPELLER-TYPE PRIMARY ELEMENT
14
FI 17
VARIABLE AREA FLOW INDICATOR
15
FQI 18
POSITIVE-DISPLACEMENT-TYPE FLOW TOTALIZING INDICATOR
16
LAMINAR FLOW, ETC.
FE
FC 19
FLOW ELEMENT WITH CONNECTION FOR CONTROLLER
17
MASS FLOW ETC.
FT 20
FLOW ELEMENT INTEGRAL WITH TRANSMITTER
18
FE 25
VORTEX SENSOR
19
FE 26
TARGET TYPE SENSOR
20
FE 27
FLOW NOZZLE
21
FE 28
M
MAGNETIC FLOWMETER

Ejemplos de simbología de elementos primarios de flujo

Ejemplos de relevadores de cómputo


1
TC
114
TY
I/P
2
TC
115
TY
I/P
3
PT
PY
O/E
PR
106
4
FT
A
FT
B
FY
109
<
5
6
T
A
N
K
LC
110
LY
110
>
LC
112
T
A
N
K
7
FC
110
TC
116
TY
Σ
d/dt

1 ELECTRIC CURRENT SIGNAL ACTUATING PNEUMATIC CONTROL VALVE WITH SEPARATELY MOUNTED ELECTRO-PNEUMATIC CONVERTER. THE CONVERTER SYMBOL MAY BE OMITTED.

2 ELECTRIC CURRENT SIGNAL TO PNEUMATIC CONTROL VALVE FURNISHED WITH ATTACHED ELECTRO-PNEUMATIC SIGNAL CONVERTER. THE CONVERTER SYMBOL MAY BE OMITTED.

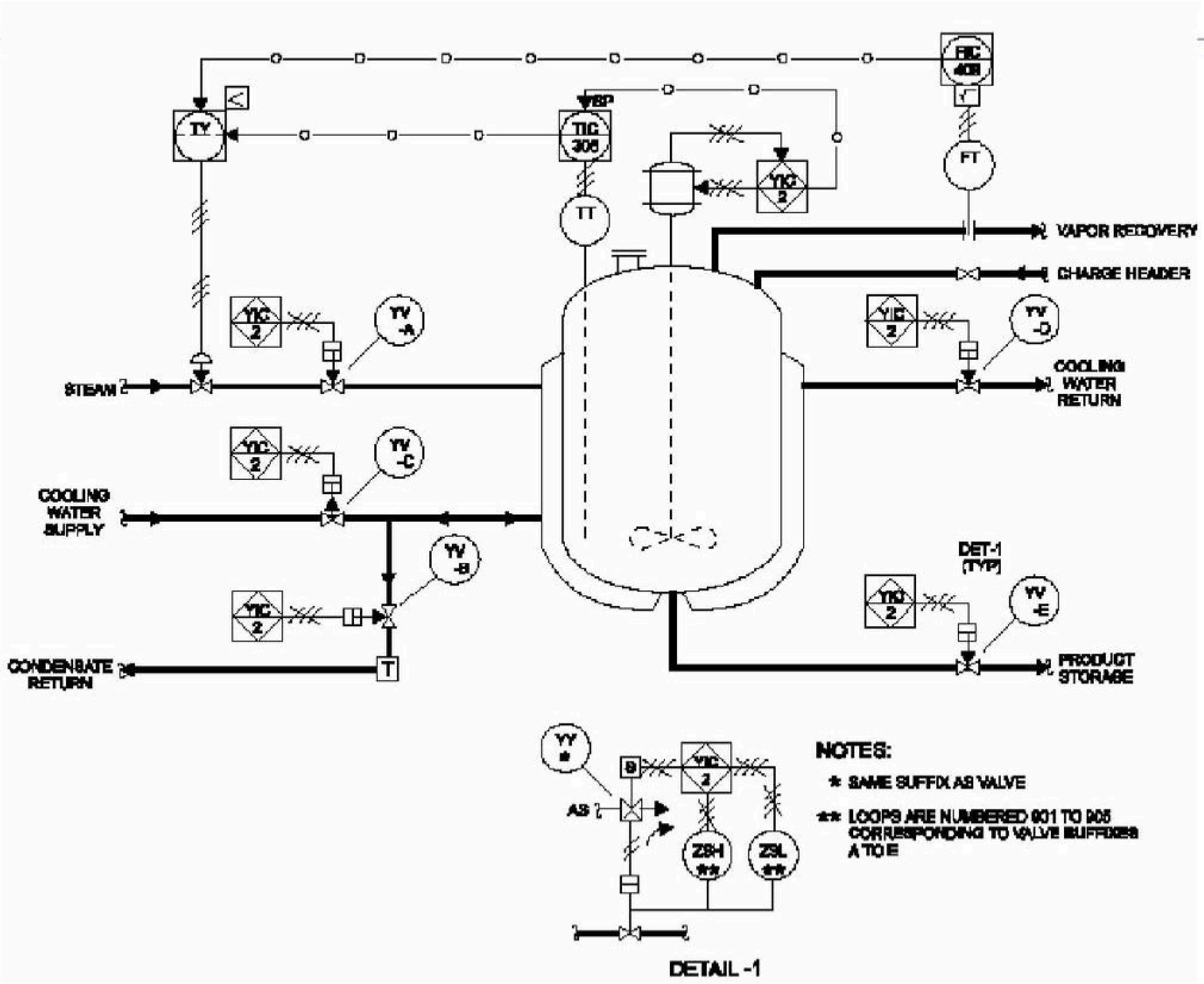
3 PRESSURE TRANSMITTER WITH RADIO (OR LASER) OUTPUT, RADIO- (OR LASER-) TO-VOLTAGE CONVERTER, AND PRESSURE RECORDER

4 SELECTOR RELAY WHOSE OUTPUT REPRESENTS LOWER FLOW OF FT-109A OR FT-109B

6 TANK OUTLET VALVE TO OPEN AS REQUIRED BY THE HIGHER OF TWO LEVELS

7 TEMPERATURE CONTROL WITH FLOW-ANTICIPATING RELAY

Diagrama esquemático


FIC
408
TY
TIC
306
SP
YIC
2
TT
FT
VAPOR RECOVERY
CHARGE HEADER
YV
-A
STEAM
YV
-D
COOLING WATER RETURN
YV
-C
COOLING WATER SUPPLY
YV
-B
CONDENSATE RETURN
T
DET-1
(TYP)
YV
-E
PRODUCT STORAGE
YY
*
S
AS
ZSH
**
ZSL
**
DETAIL -1

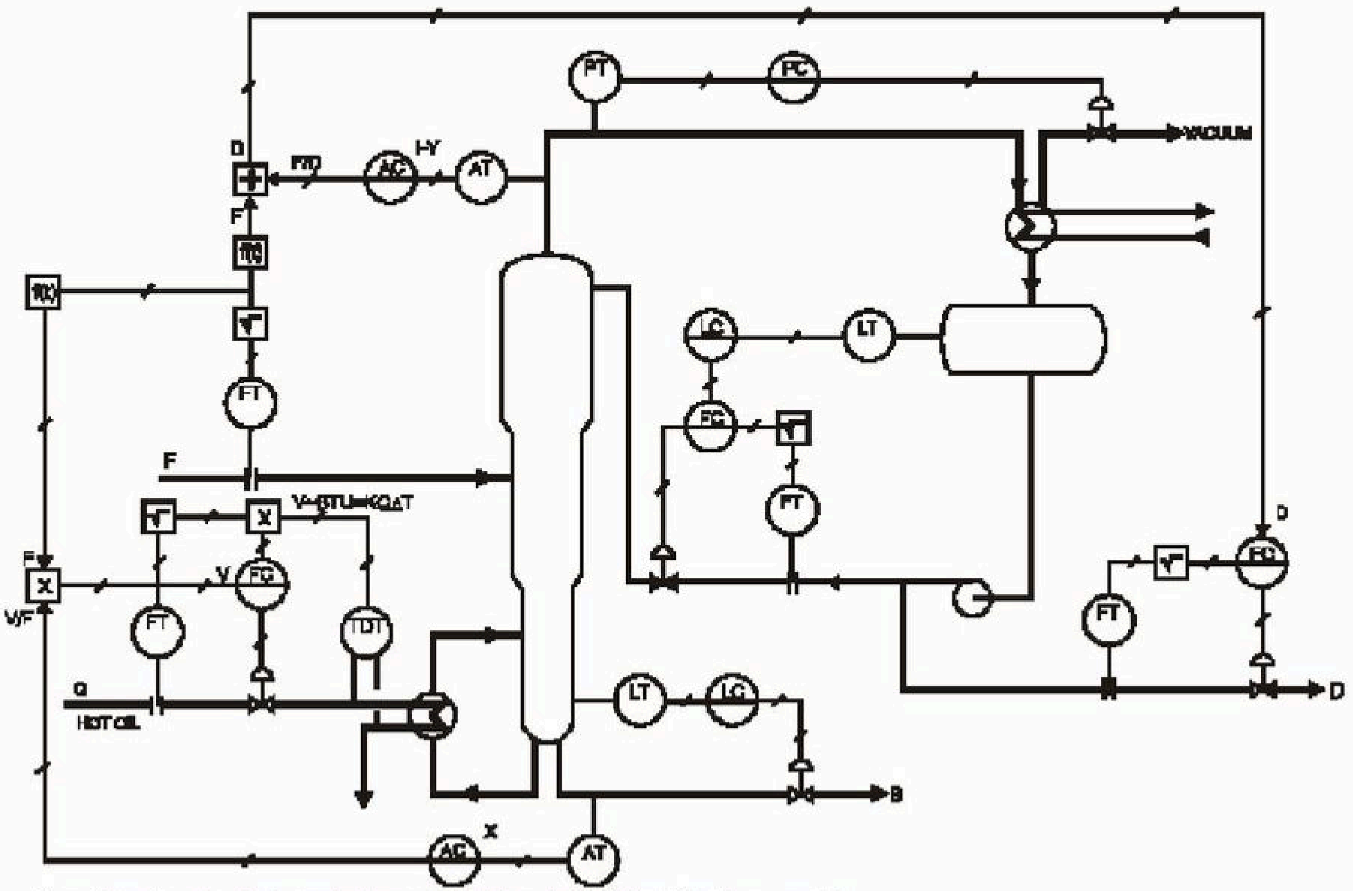
NOTES:

* SAME SUFFIX AS VALVE

** LOOPS ARE NUMBERED 901 TO 905 CORRESPONDING TO VALVE SUFFIXES A TO E

Diagrama esquemático

2 TYPICAL SYMBOLISM FOR CONCEPTUAL DIAGRAMS


PT
PC
VACUUM
D
F(X)
AC
I-Y
AT
F
f(t)
f(x)
FT
LC
LT
FC
F
V=BTU÷KΔT
X
F
X
V
FC
V/F
FT
TDT
Q
HOT OIL
FT
FC
D
D
LT
LC
B
X
AC
AT

Functionally oriented symbolism and abbreviated identification used to develop control concepts without concern for specific hardware.

Diagramas de lazo y el índice de instrumentos

Aunque los DTI's son muy importantes, no contienen toda la información necesaria. Los documentos básicos que complementan la información del DTI son:

- Diagramas funcionales de instrumentación o diagramas de lazo.

- Indice de instrumentos.

Diagrama funcional de instrumentación o de lazo

Es un diagrama que muestra todos los dispositivos en un lazo específico utilizando la simbología que identifica las interconexiones, e incluye número e identificación de conexiones, tipo de cables y tamaños, tipos de señal, etc.

La mayoría de la gente considera que el diagrama funcional de instrumentación es el documento más importante para un instrumentista.

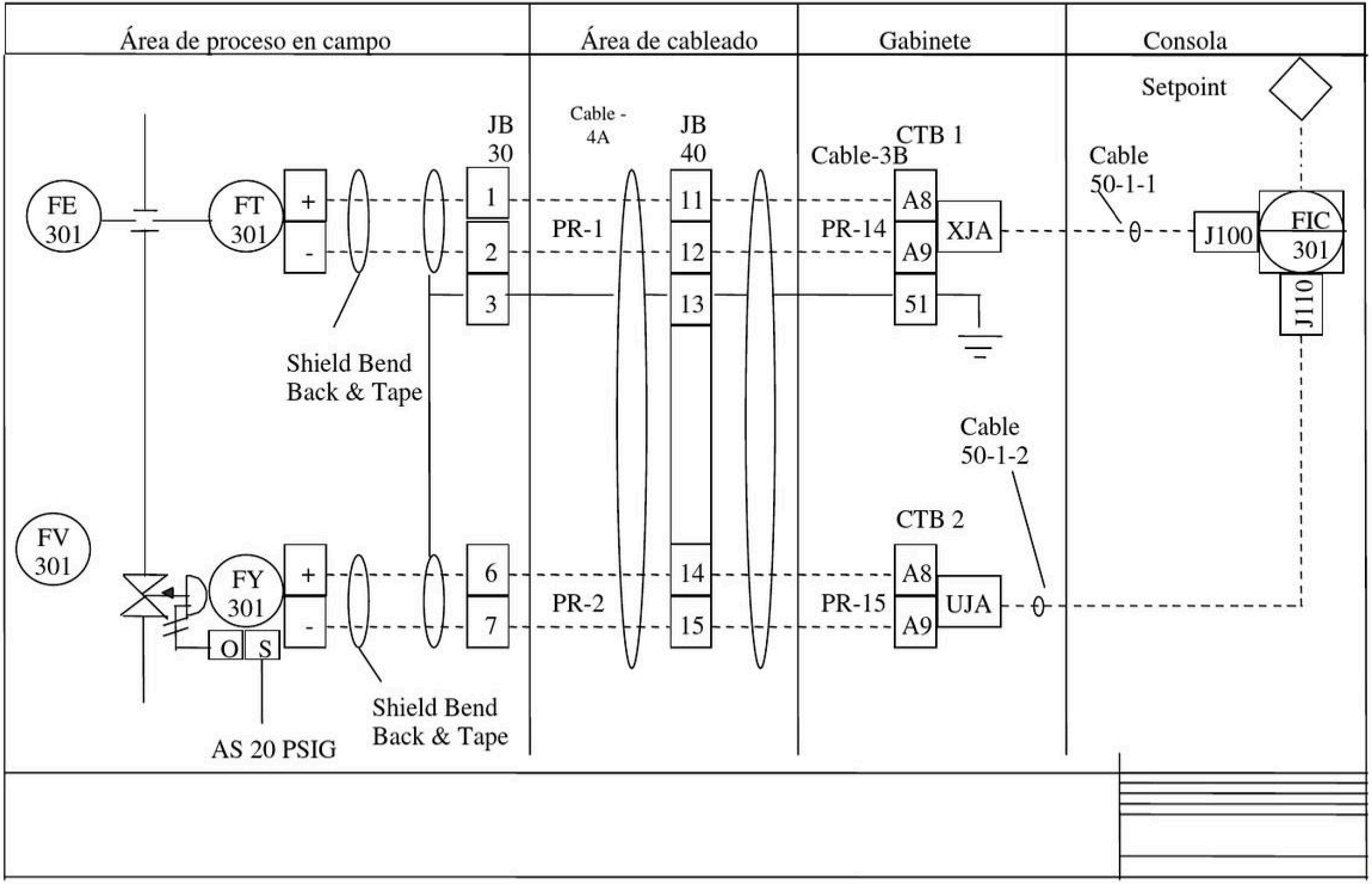
Siempre que se requiera la localización de fallas, el diagrama funcional de instrumentación es un documento muy valioso, ya que contiene suficiente información para combrobar o verificar averías en ese lazo, ya que no sólo contiene el diagrama de cableado, sino que muestra todos los dispositivos conectados a ese lazo.

Diagrama funcional de instrumentación o de lazo

- **Tipos**
  - Neumático
  - Electrónico
  - Despelgados compartidos

- **Usos**
  - Diseño
  - Construcción
  - Puesta en marcha
  - Operación
  - Mantenimiento
  - Modificaciones

Ejemplos de diagramas funcionales de instrumentación


Área de proceso en campo
Área de cableado
Gabinete
Consola
Setpoint
FE 301
FT 301
+
-
JB 30
1
2
3
Cable - 4A
JB 40
11
12
13
PR-1
Cable-3B
CTB 1
PR-14
A8
A9
51
XJA
Cable 50-1-1
J100
FIC 301
J110
Shield Bend Back & Tape
Cable 50-1-2
CTB 2
FV 301
FY 301
6
7
14
15
PR-2
PR-15
UJA
O
S
AS 20 PSIG
Shield Bend Back & Tape

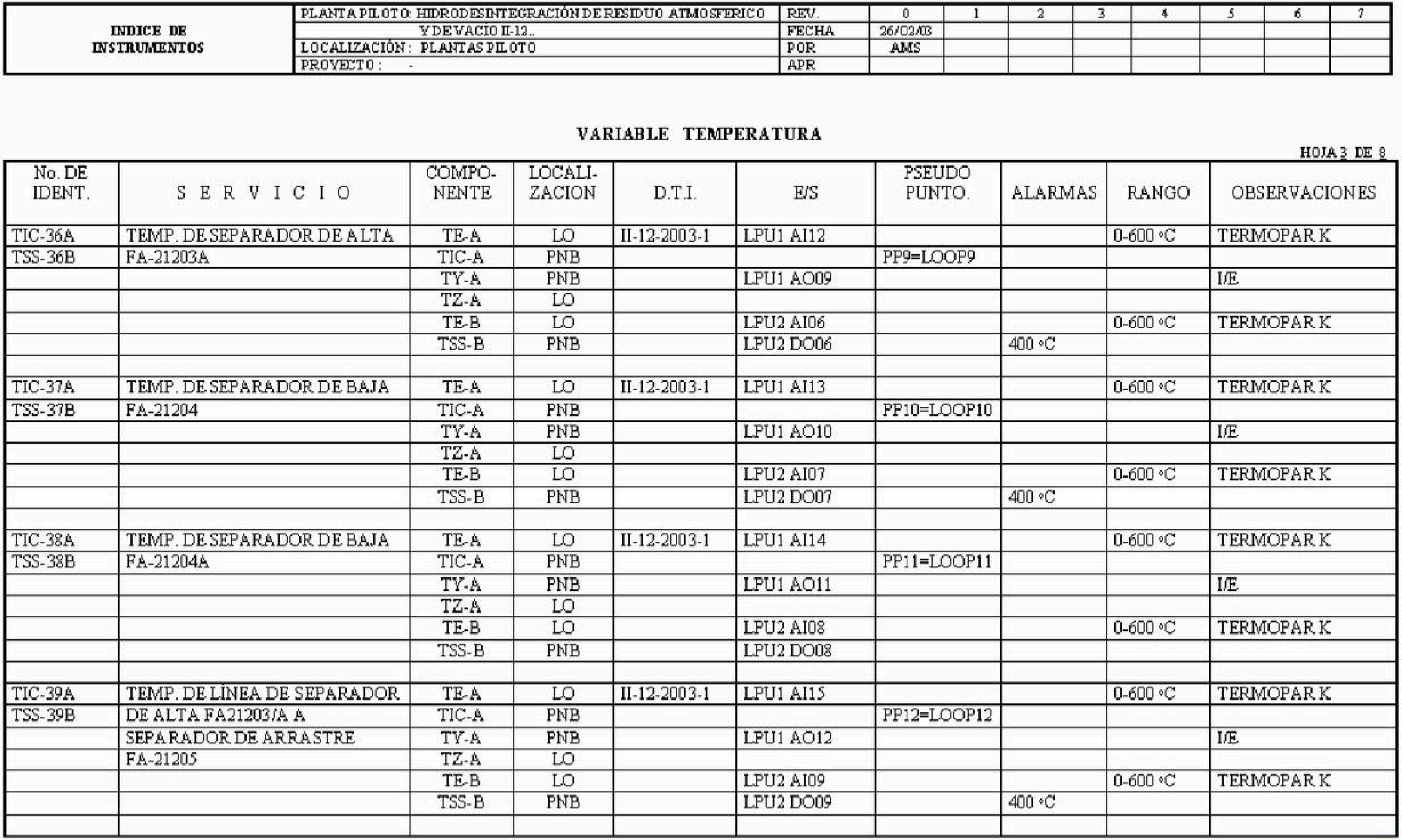
Indice de instrumentos

El índice de Instrumentos es una lista alfanumérica de todos los instrumentos que se muestran en el DTI, proporcionando los datos para la instalación, la puesta en marcha, el mantenimiento y las modificaciones.

Los datos incluidos en el índice de instrumentos varía y depende de la complejidad de la instrumentación de las plantas.

Básicamente el índice de instrumentos debe incluir el tag, la descripción, la localización física, la referencia cruzada con otros documentos asociados o dibujos. El índice de instrumentos es una herramienta muy útil para proyectos futuros si es actualizada.

Indice de instrumentos típico



			0	1	2	3	4	5	6	7
INDICE DE INSTRUMENTOS	PLANTA PILOTO: HIDRODESINTEGRACIÓN DE RESIDUO ATMOSFERICO Y DE VACIO II-12..	REV.	0	1	2	3	4	5	6	7
		FECHA	26/02/03							
	LOCALIZACIÓN: PLANTAS PILOTO	POR	AMS							
	PROYECTO: -	APR								

VARIABLE TEMPERATURA

HOJA 3 DE 8

No. DE IDENT.	SERVICIO	COMPONENTE	LOCALIZACION	D.T.I.	E/S	PSEUDO PUNTO.	ALARMAS	RANGO	OBSERVACIONES
TIC-36A	TEMP. DE SEPARADOR DE ALTA	TE-A	LO	II-12-2003-1	LPU1 AI12			0-600 °C	TERMOPAR K
TSS-36B	FA-21203A	TIC-A	PNB			PP9=LOOP9			
		TY-A	PNB		LPU1 AO09				I/E
		TZ-A	LO						
		TE-B	LO		LPU2 AI06			0-600 °C	TERMOPAR K
		TSS-B	PNB		LPU2 DO06		400 °C		
TIC-37A	TEMP. DE SEPARADOR DE BAJA	TE-A	LO	II-12-2003-1	LPU1 AI13			0-600 °C	TERMOPAR K
TSS-37B	FA-21204	TIC-A	PNB			PP10=LOOP10			
		TY-A	PNB		LPU1 AO10				I/E
		TZ-A	LO						
		TE-B	LO		LPU2 AI07			0-600 °C	TERMOPAR K
		TSS-B	PNB		LPU2 DO07		400 °C		
TIC-38A	TEMP. DE SEPARADOR DE BAJA	TE-A	LO	II-12-2003-1	LPU1 AI14			0-600 °C	TERMOPAR K
TSS-38B	FA-21204A	TIC-A	PNB			PP11=LOOP11			
		TY-A	PNB		LPU1 AO11				I/E
		TZ-A	LO						
		TE-B	LO		LPU2 AI08			0-600 °C	TERMOPAR K
		TSS-B	PNB		LPU2 DO08				
TIC-39A	TEMP. DE LÍNEA DE SEPARADOR	TE-A	LO	II-12-2003-1	LPU1 AI15			0-600 °C	TERMOPAR K
TSS-39B	DE ALTA FA21203/A A	TIC-A	PNB			PP12=LOOP12			
	SEPARADOR DE ARRASTRE	TY-A	PNB		LPU1 AO12				I/E
	FA-21205	TZ-A	LO						
		TE-B	LO		LPU2 AI09			0-600 °C	TERMOPAR K
		TSS-B	PNB		LPU2 DO09		400 °C		

Indice de instrumentos típico

Tag #	Desc.	DTI #	Ultima Calib.	Calib. por	Fecha Cal. esperada	Rango de Calib.	Peligros
LI-50	VS. 50 H2s	103	Aug 01	AWS	Aug 02	0-75 "H2O	H2S
LAL-50	VS. 50 H2S – Alarma en nivel bajo	103	Aug 01	AWS	Aug 02	10"H2O	H2S
LSLL-50	VS. 50 H2S – Switch en nivel bajo	103	Aug 01	AWS	Aug 02	5"H2O	H2S
LT-100	VS. 100 - K.O. Drum	103	May 02	DAL	Nov 02	0-125 "H2O	
LI-100	VS. 100 - K.O. Drum	103	May 02	DAL	Nov 02	0-100%	--
LT-201	VS. 201 – Columna de destilación	205	Nov 02	BJP	Feb 03	0-164 "H2O	N2 Blanket
LIC-201	VS. 201 – Columna de destilación	205	Nov 02	BJP	Feb 03	0-100%	

Setting the Standard for Automation™

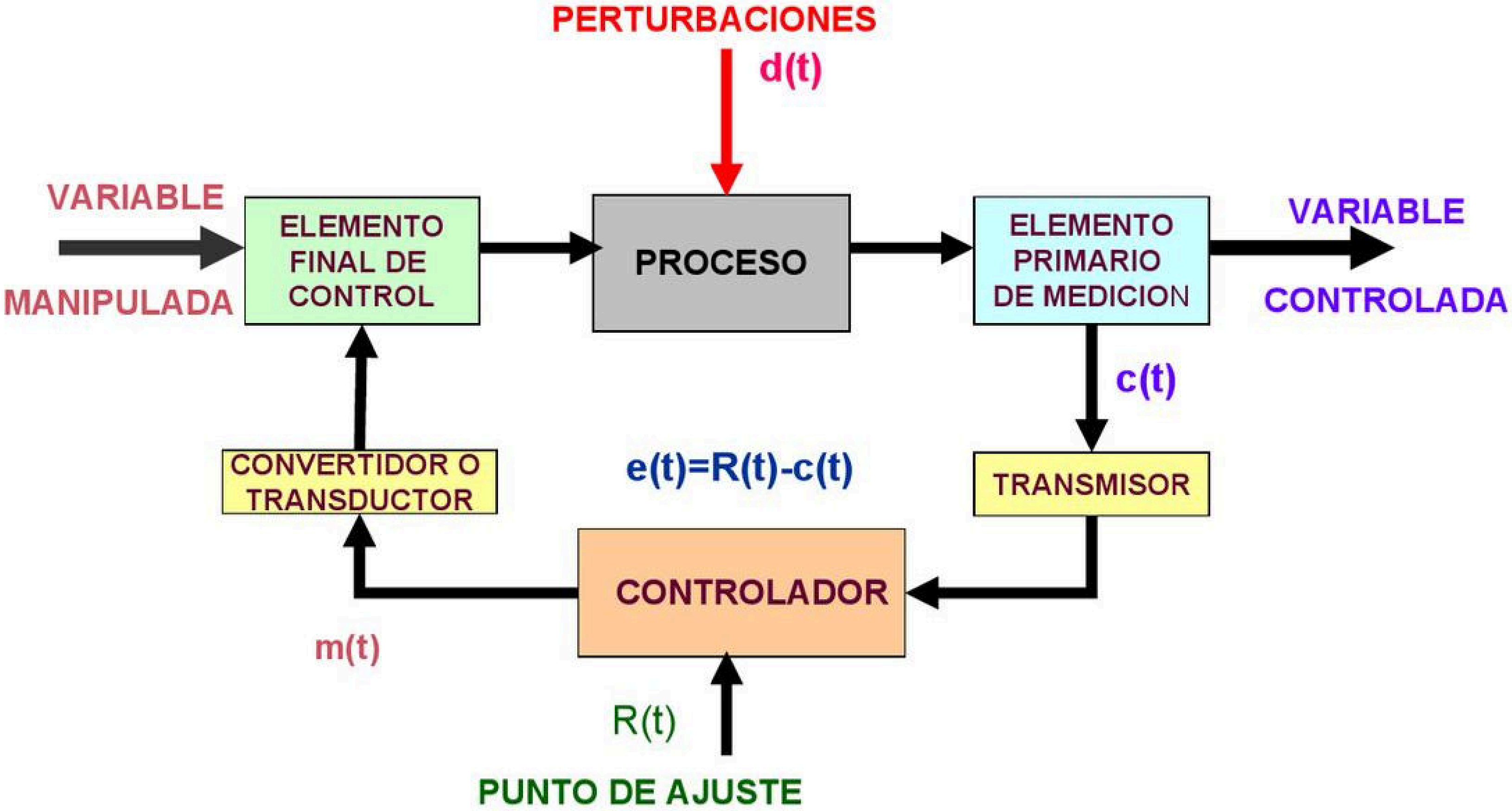
INSTRUMENTACIÓN BÁSICA DE PROCESOS INDUSTRIALES

CAPÍTULO 3

MEDICIÓN DE TEMPERATURA

DOCENTE
MARCELO SEPULVEDA ITURRIETA

El Lazo de control


PERTURBACIONES
d(t)
VARIABLE
MANIPULADA
ELEMENTO FINAL DE CONTROL
PROCESO
ELEMENTO PRIMARIO DE MEDICION
VARIABLE
CONTROLADA
c(t)
CONVERTIDOR O TRANSDUCTOR
e(t)=R(t)-c(t)
TRANSMISOR
CONTROLADOR
m(t)
R(t)
PUNTO DE AJUSTE

Elemento primario de medición

El elemento primario de medición, detector o sensor es un instrumento, que puede formar parte de un lazo de control, que primero detecta o sensa el valor de la variable de proceso y que asume un estado o salida legible, correspondiente y predeterminado.

Contempla generalmente dos partes: un sensor o elemento primario de medición que mide la variable controlada c(t), a la que se llamará más adelante como variable de proceso PV, y la transforma a un tipo diferente de energía.

Elemento primario de medición

Las señales eléctricas estándar manejadas son: 4-20 mA.C.D., 0-5 V.C.D. y 0-10 V.C.D. Así por ejemplo, si se desea medir una temperatura de 0-700ºC, la señal de 4 mA. corresponderá a 0ºC. y la señal de 20 mA. corresponderá a 700ºC.

La razón básica de la señal estándar es utilizar solamente un solo tipo de controlador universal que se aplique a cualquier variable de proceso (temperatura, flujo, nivel, presión, peso, densidad, conductividad, etc.).

En algunos casos, el elemento primario de medición y el transmisor vienen en un solo instrumento, como es el caso de los transmisores de presión.

El Controlador

Su función es fijar la variable controlada c(t) en un valor deseado R(t), conocido como punto de ajuste o "set point", mediante la manipulación de su salida o variable manipulada m(t) a través de un actuador que interactúa directamente en el proceso. Este controlador en su entrada y salida maneja también señales eléctricas estándar e incluyen internamente el comparador o generador de la señal de error.

El Elemento Final de Control

Convierte la señal estándar recibida por el controlador en una señal adecuada para interactuar con el proceso y así modificar o mantener el valor de la variable controlada. Normalmente contempla dos partes: un transductor y un elemento final de control. Por ejemplo, si el elemento final utilizado es una válvula de control, se requiere un transductor que convierta la señal eléctrica de 4-20 mA.C.D. en una señal de aire con una presión de 3-15 PSIG (lb/pulg^2).

Medición de temperatura

" ***La Temperatura*** *es una manifestación del promedio de energía cinética, ondulatoria y de traslación de las moléculas de una sustancia".*

Las unidades de temperatura son establecidas en cinco escalas arbitrarias: escala Farenheit °F, escala Centigrada °C, escala Kelvin K, escala Rankine °R y escala Reamur °R

La conversión más común es de °C a °F.

°C= (°F-32)/1.8
°F=1.8 °C +32

Escalas de temperatura

Escala	Cero Absoluto	Fusión del Hielo	Evaporación
Kelvin	0°K	273.2°K	373.2°K
Rankine	0°R	491.7°R	671.7°R
Reamur	-218.5°Re	0°Re	80.0°Re
Centígrada	-273.2°C	0°C	100.0°C
Fahrenheit	-459.7°F	32°F	212.0°F

Escalas de Temperatura: Más comunes

- Fahrenheit
  - El agua se congela a 32°F, y hierve a 212°F
    - A nivel del mar
- Celsius (centigrados antes de 1948)
  - El agua se congela a 0°C, hierve a 100°C
    - A nivel del mar
- °F= (°C x 1.8) + 32
- °C= 5/9 (°F -32)

Escalas de Temperature: Absolutas

- Escala-Kelvin Termodinamica
  - El movimiento molecular se detiene a 0K
  - El agua se congela a 273.15K, hierve a 373.15K
  - K=°C + 273.15
    - Las unidades grados tienen el mismo tamaño que la escala en Celsius
  - Escala de temperatura Internacional de 1990
- Rankine:
  - El paralela a la escala termodinámica pero en unidades grados tiene el mismo tamaño que en la escala Fahrenheit
  - °R=°F + 459.64

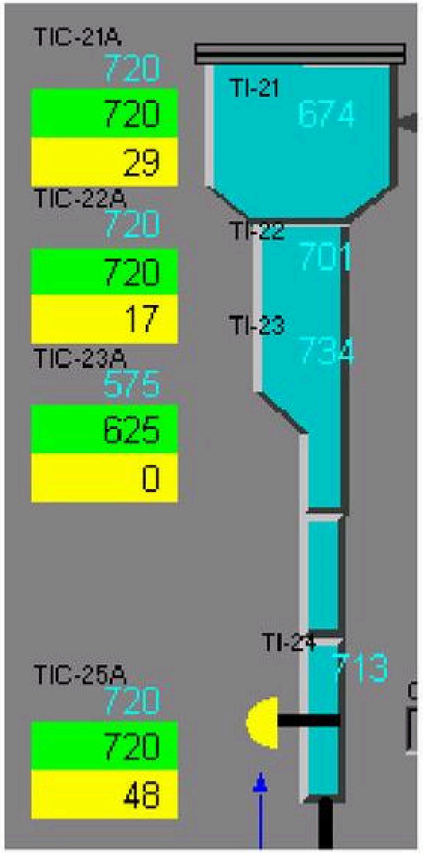
Uso de la medición de temperatura

La detección, medición y control de temperatura en procesos industriales es deseada en los siguientes casos:

-En operaciones que involucran transferencia de calor, como los intercambiadores de calor, hornos, rehervidores, evaporadores o calderas.

- Control de reacciones químicas sensibles a la temperatura.

- Operación de equipos, como torres de destilación, tanques de almacenamiento, torres de enfriamiento, mezcladores, cristalizadores, etc.


TIC-21A
720
720
29
TIC-22A
720
720
17
TIC-23A
575
625
0
TIC-25A
720
720
48
TI-21
674
TI-22
701
TI-23
734
TI-24
713

Uso de la medición de temperatura

- Monitoreo del funcionamiento de equipo rotatorio, para prevenir calentamiento, como turbinas, compresores, bombas y motores en general.

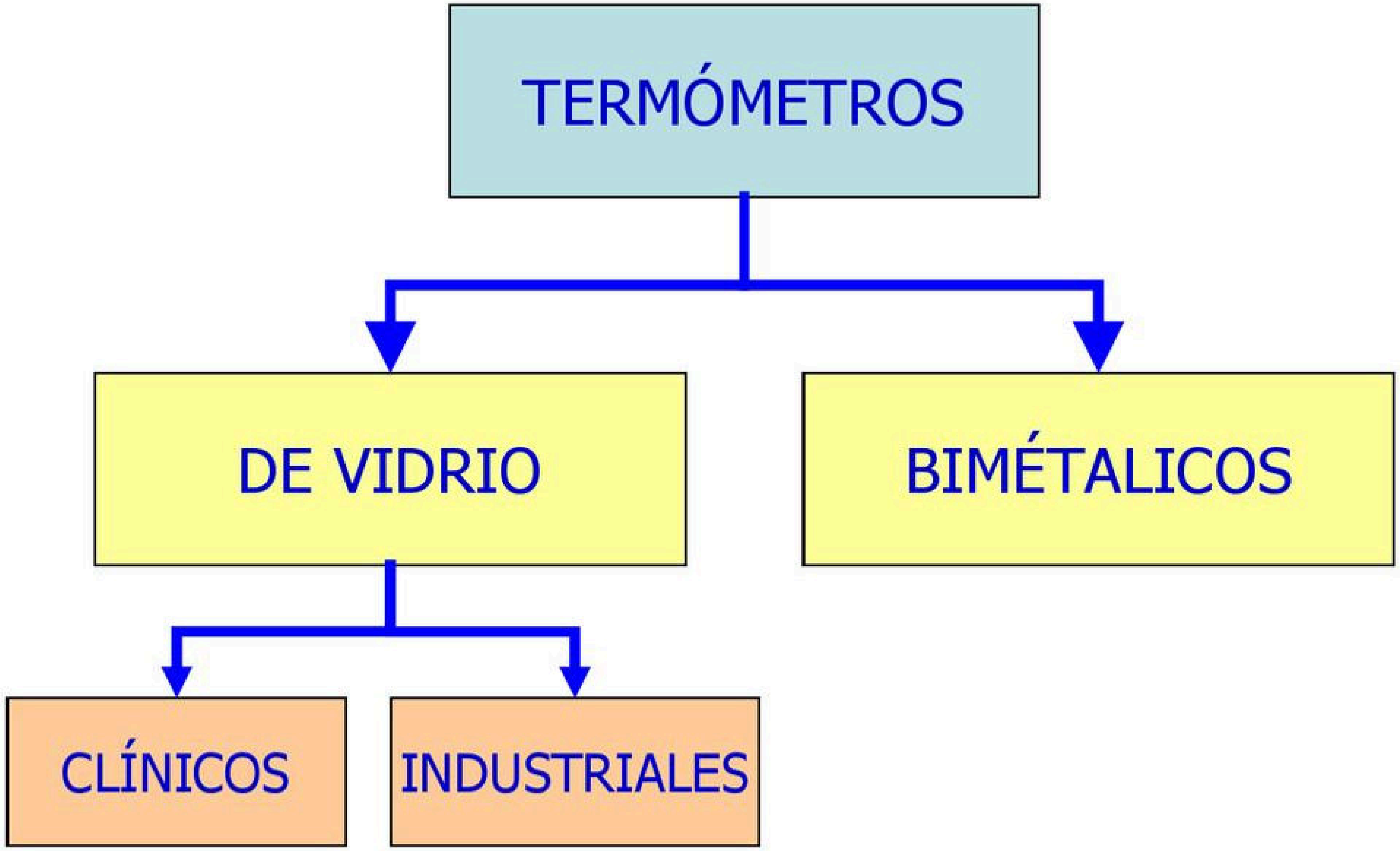
- Control de temperatura de productos y límites de planta.

Medición inferencial de temperatura

Los instrumentos de temperatura utilizan diversos fenómenos que son influidos por la temperatura:

a) Variaciones en volumen o en estado de los cuerpos (Termómetros de vidrio y bimetálicos, sistemas termales);
b) Variación de resistencia de un conductor (Bulbos de resistencia RTD, termistores);
c) Generación de una f.e.m. creada en la unión de dos metales distintos (termopares);
d) Intensidad de la radiación total emitida por el cuerpo (pirómetros de radiación);
e) Otros fenómenos utilizados en laboratorio (velocidad del sonido en un gas, frecuencia de resonancia de un cristal, etc.)

Termómetros



TERMÓMETROS

DE VIDRIO

BIMÉTALICOS

CLÍNICOS

INDUSTRIALES

Termómetros de vidrio

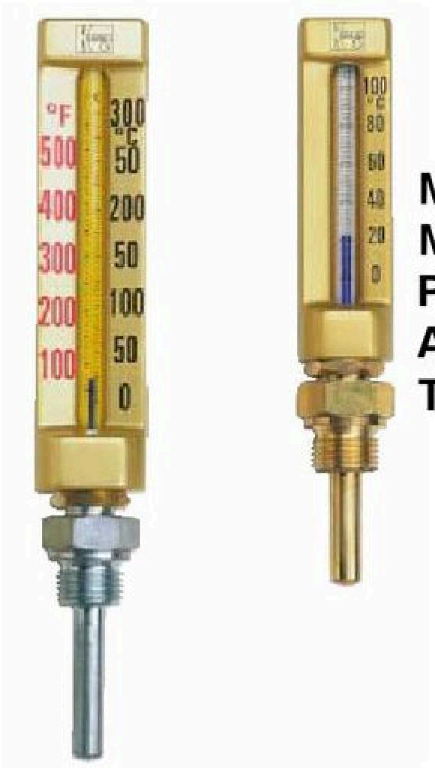
El termómetro de líquido encerrado son los más familiares y constan de un depósito de vidrio que contiene, por ejemplo, mercurio y que al calentarse se expande y aumenta su volumen en el tubo capilar.

Su bulbo, relativamente grande en la parte más baja del termómetro, contiene la mayor cantidad del líquido, el cual se expande cuando se calienta y sube por el tubo capilar en el cual se encuentra grabada una escala apropiada con marcas. Los líquidos más usados son alcohol y mercurio.

El mercurio no puede usarse debajo de su punto de congelación de -38.78°F (-37.8°C) y por arriba de su punto de ebullición a 357 °C, con la ventaja de ser portátil.

Termómetros de vidrio

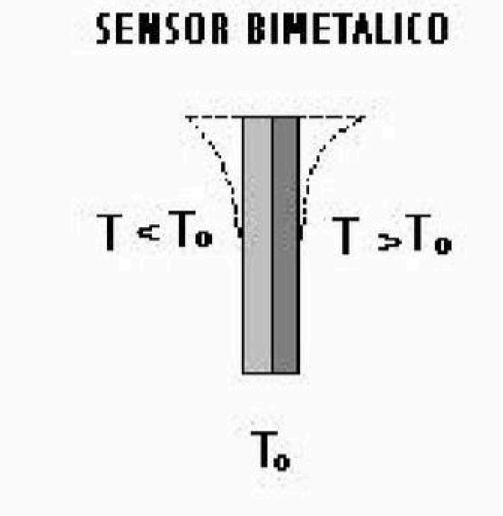
El alcohol tiene un coeficiente de expansión más alto que el del mercurio pero esta limitado a mediciones de baja temperatura, hasta -110 °C, debido a que tiende a hervir a temperaturas altas, su punto de ebullición es a 78 °C.


°F
500
400
300
200
100
300
°C
50
200
50
100
50
0
100
°C
80
60
40
20
0

Mercurio	**-35 hasta +280 °C**
Mercurio (tubo capilar lleno de gas)	**-35 hasta+450 °C**
Pentano	**-200 hasta +20 °C**
Alcohol	**-110 hasta +50°C**
Tolueno	**-70 hasta +100°C**

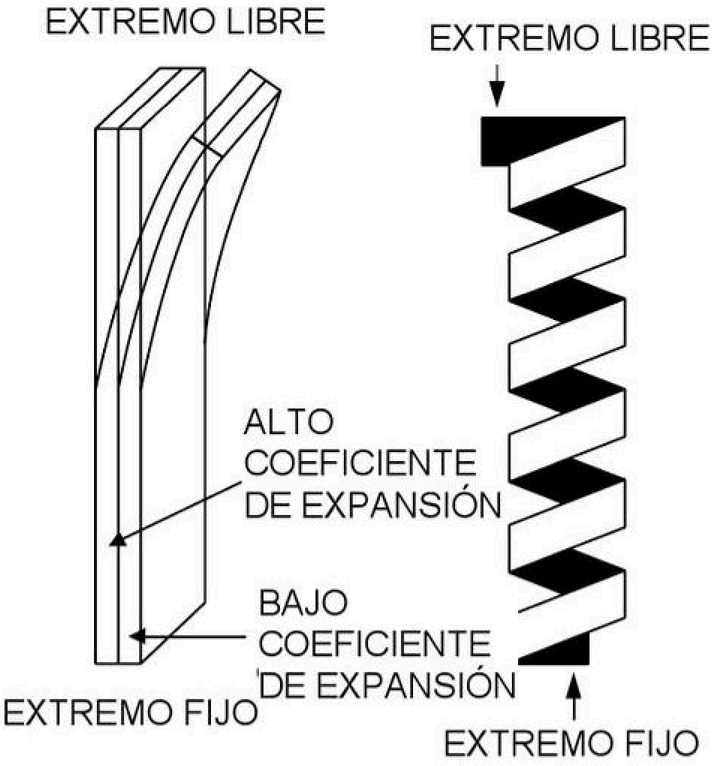
Termómetro bimetálico

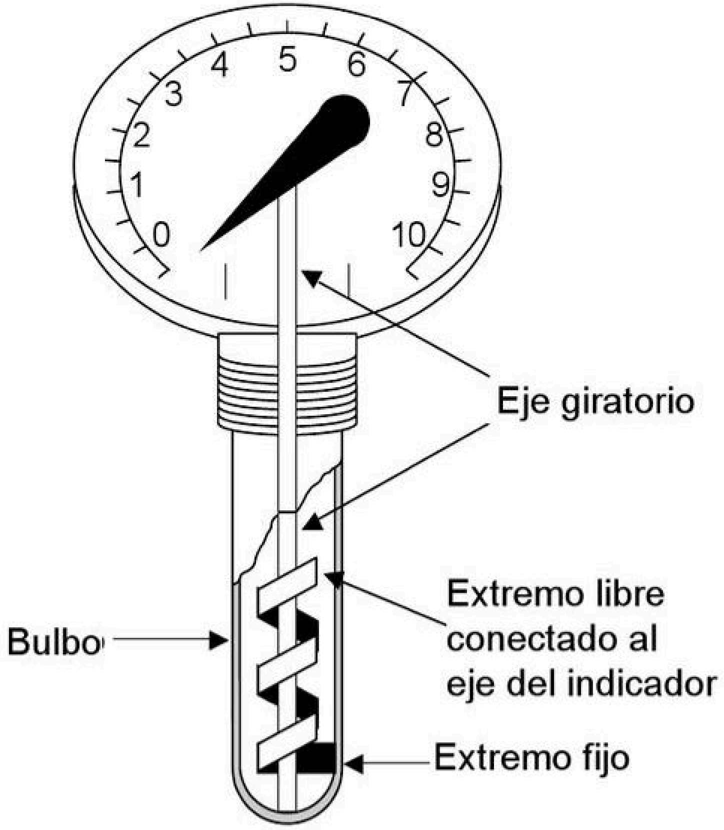
Los termómetros bimetálicos se basan en el coeficiente de dilatación de dos metales diferentes, tales como latón, monel o acero y una aleación de ferroníquel o Invar laminados conjuntamente. La diferencia en la relación de coeficiente de expansión de cada metal provoca que el elemento bimetálico se doble. Las láminas bimetálicas van unidas y pueden ser rectas o curvas, formando espirales o hélices.



Termómetro bimetálico

Cuando se unen los dos metales y enredados en espiral, la expansión provoca que el lado libre rote. Este es un instrumento relativamente barato, pero es inexacto y lento en relación a su respuesta.

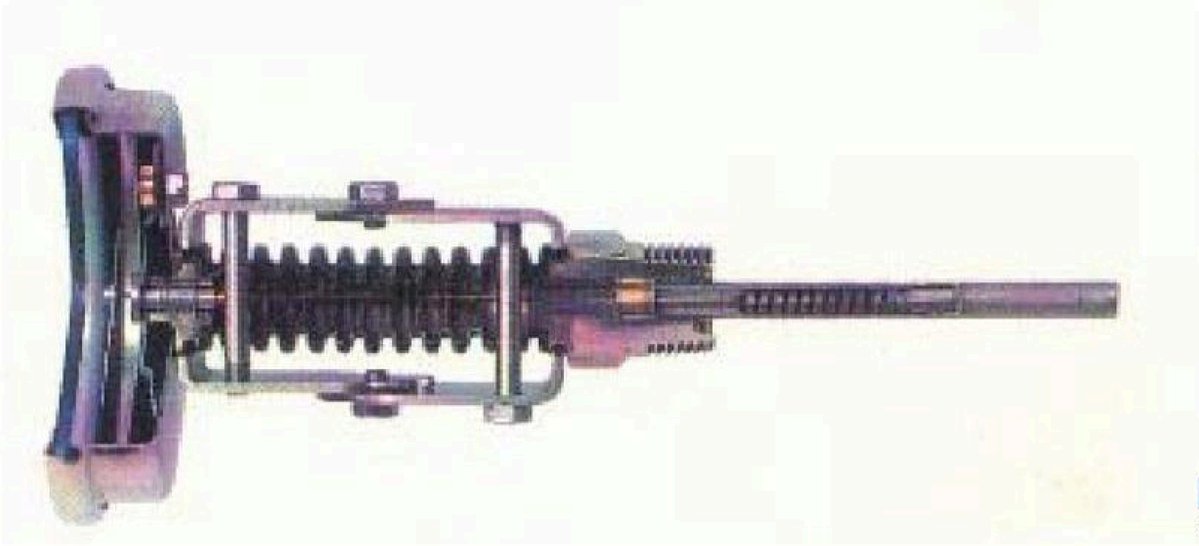

EXTREMO LIBRE
EXTREMO LIBRE
ALTO COEFICIENTE DE EXPANSIÓN
BAJO COEFICIENTE DE EXPANSIÓN
EXTREMO FIJO
EXTREMO FIJO


0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
Eje giratorio
Bulbo
Extremo libre conectado al eje del indicador
Extremo fijo

Termómetro bimetálico

Este instrumento contiene pocas partes móviles, sólo la aguja indicadora sujeta al extremo libre de la espiral o de la hélice y el propio elemento bimetálico. El eje y el elemento están sostenidos con cojinetes y el conjunto está construido con precisión para evitar rozamientos. La precisión del instrumento es de 1% y su campo de medida (rango) es de –200 a +500 ºC.

Este instrumento es el indicador local de temperatura mas comúnmente utilizado.



Sistemas Termales

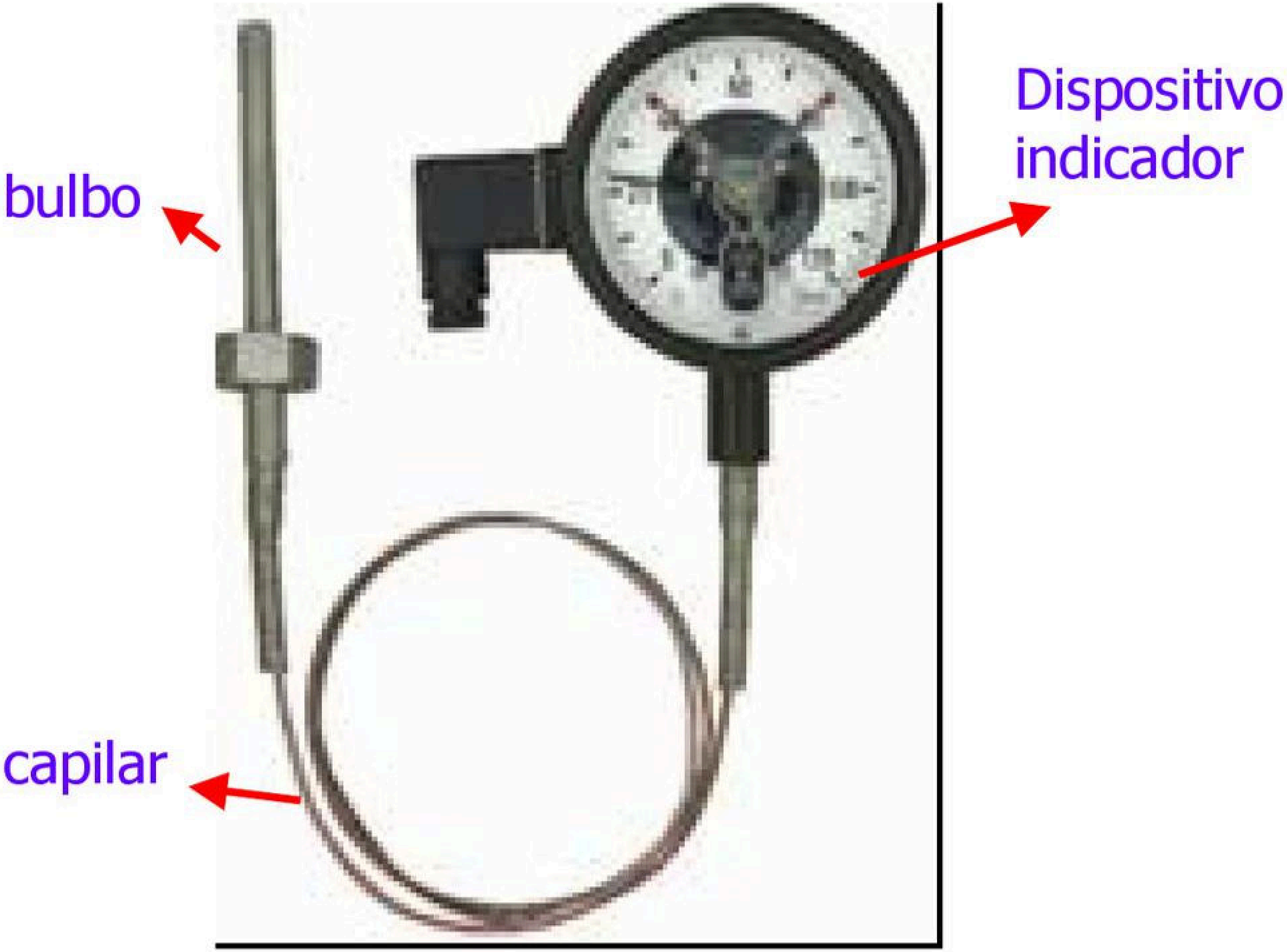
Este es uno de los métodos más antiguos utilizados para indicación local, registro y control y actualmente su uso se limita a transmisores, sobretodo en lazos neumáticos. Básicamente es un medidor de presión que consiste de:

- Un bulbo sensitivo, inmerso en el medio a medir.

- Un tubo capilar conectado del bulbo al dispositivo de lectura para que cuando la temperatura del bulbo cambia, el gas o el líquido en el bulbo se expanden y la espiral tiende a desenrollarse moviendo,

- Un dispositivo indicador actuado por presión para efectuar la indicación de temperatura.

Mecanismo del sistema termal

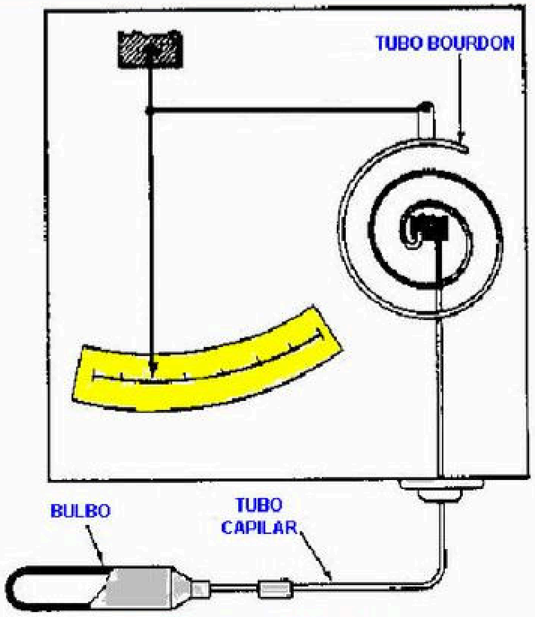

Dispositivo indicador
bulbo
capilar

Compensación del sistema termal

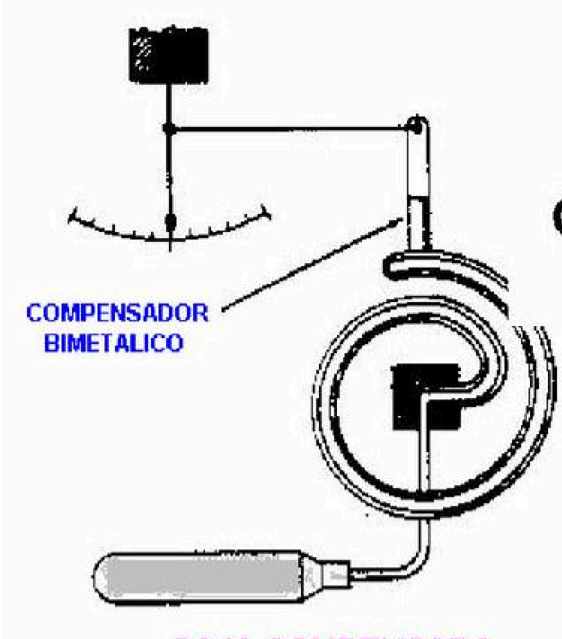
Uno de los problemas básicos de este sistema es el error inducido por las variaciones en la temperatura ambiente, por lo que requiere una compensación.

La compensación puede ser de dos tipos: En caja por medio de un elemento bimetálico que tiende a anular los efectos de la temperatura ambiente sobre el receptor; y Total por medio de otro capilar paralelo que este sometido a los mismos efectos y los contrarresta, sobretodo cuando la extensión del capilar es considerable

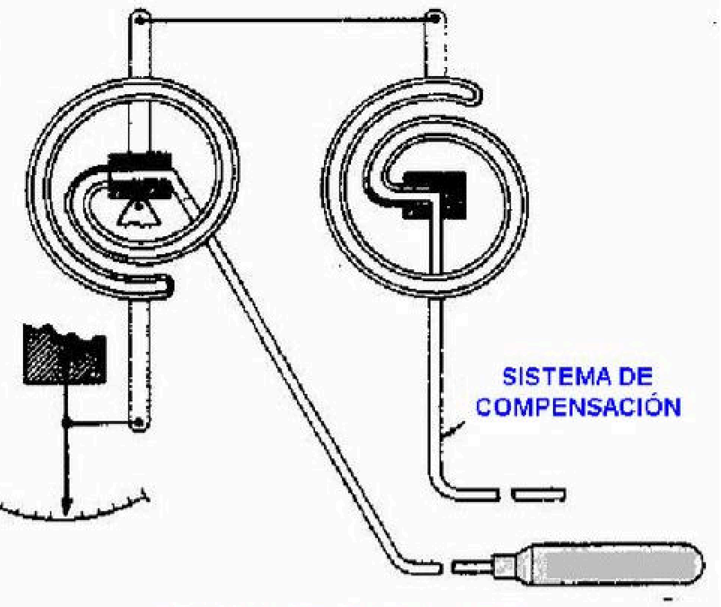
Compensación del sistema


TUBO BOURDON
BULBO
TUBO CAPILAR

SISTEMA TERMAL LLENO
NO COMPENSADO


COMPENSADOR
BIMETALICO

CAJA COMPENSADA


SISTEMA DE
COMPENSACIÓN

COMPENSACIÓN COMPLETA

Clasificación del sistema termal

De acuerdo a la Asociación de Fabricantes de Aparatos Eléctricos (SAMA) existen cuatro grupos de acuerdo al fluido de llenado y al rango:

- Clase I	Llenado con líquidos (cambios de volumen)
- Clase II	Llenado con vapor (cambios de presión)
- Clase III	Llenado con gas (cambios de presión)
- Clase V	Llenado con mercurio (cambios de volumen)

El rango de medición de estos instrumentos varía entre –40 hasta +500 ºC, dependiendo del tipo de líquido, vapor o gas que se emplee.

Características

CLASIFICACION SAMA	FLUIDO DE LLENADO	COMPENSACION	TEMPERATURA °C	LINEALIDAD DE LA ESCALA	VELOCIDAD RESPUESTA SIN TERMOPOZO	EFECTO DE LA COLUMNA HIDROSTATICA	CAPACIDAD DE SOBRERANGO	VENTAJAS	LIMITACIONES
1A	LIQUIDO	NO COMPENSADO	-90 A 370	LINEAL EXCEPTO A BAJA T	6 A 7 s	DEBE SER COMPENSADO	150%	COSTO MENOR	CAPILAR CORTO,
		TOTAL	-90 A 370	LINEAL EXCEPTO A BAJA T	6 A 7 s		150%	CAPILARES GRANDES	ESCALA LINEAL
1B	LIQUIDO	EN CAJA	-90 A 370		6 A 7 s		150%	CAPILARES GRANDES	DIFICIL EN T AMBIENTE
IIA	VAPOR	EN CAJA	0 A 350	NO LINEAL	4 A 5 s	NECESARIO COMPENSARLO		NO COMP. POR T AMB.	
IIB	VAPOR	EN CAJA	0 A 350	NO LINEAL	4 A 5 s	NECESARIO COMPENSAR		NO COMP. POR T AMB.	
IIC	VAPOR	NO	0 A 185	NO LINEAL	4 A 5 s	NINGUNO	NO		NO TIENE SOBRECARGA
IIIA	GAS	TOTAL	-270 A 160	LINEAL				SIN COMP	NO USO EN CONTROL
IIIB	GAS	TOTAL	-270 A 160					PARA CONTROL	NO USO EN CONTROL
VA	MERCURIO	TOTAL	-40 A 640				150 %		MANEJO DE HG
VB	MERCURIO	EN CAJA	-40 A 640						MANEJO DE HG

Características de los sistemas termales

VENTAJAS	LIMITACIONES
Construcción robusta	El costo de reemplazo es mas alto que en la mayoría de los sistemas eléctricos
Principio de operación simple	Requiere señal de transmisión, si esta localizado a mas de 50 m del sistema
Costo inicial relativamente bajo	No adecuados para temperaturas arriba de 750 °C
El sistema es autocontenido y no necesita alimentación de energía para su funcionamiento	La falla del bulbo o del capilar implica el reemplazo total del sistema.
Amplia variedad de gráficas de registro disponible	La sensitividad y exactitud son comparativamente mas bajos que la mayoría de los sensores eléctricos.
Varios sistemas se pueden instalar en una sola caja	El tamaño del sensor es mayor que los sensores eléctricos.
	Voluminoso, tiempo de respuesta lento, capilar sensible (requiere protección)

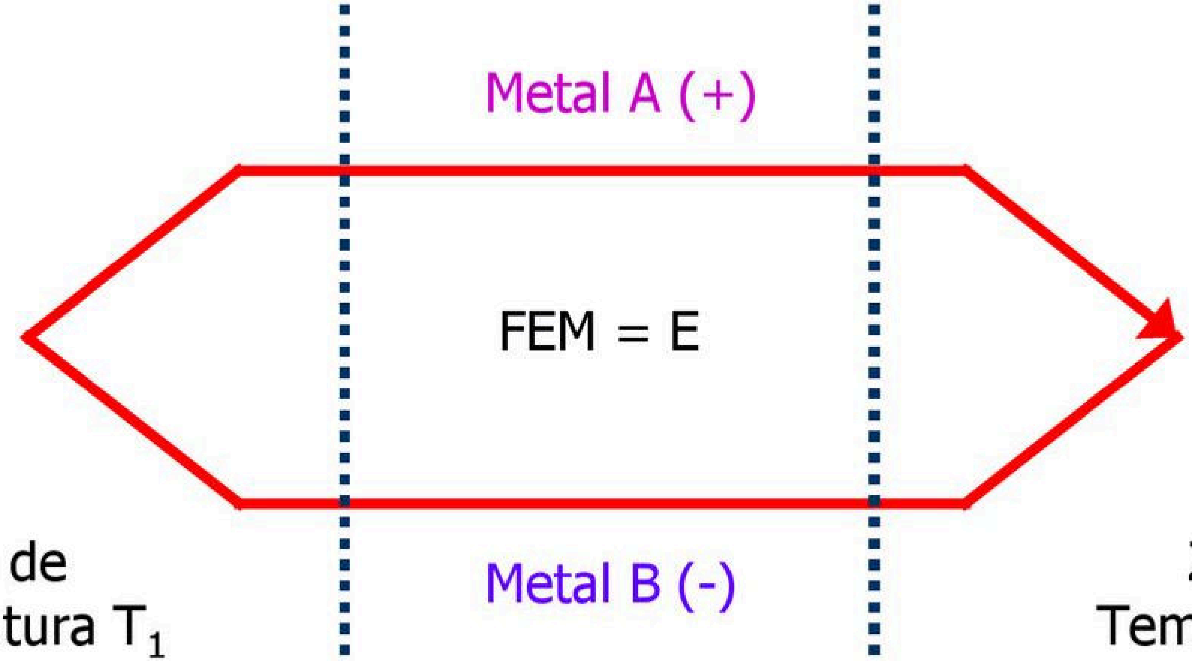
Termopar

El termopar es uno de los métodos más simples para medir temperatura. En 1821 Seebeck señaló que si se unían dos metales distintos por sus extremos y si se someten a temperaturas diferentes, entre las uniones aparecen fuerzas electromotrices generadas que están en función de la diferencia de temperaturas en la unión y del tipo de metal utilizado para fabricar la unión. La ecuación que se cumple es:

$$\text{FEM (mV)} = a + bT + cT^2$$

En su forma más simple, un termopar consiste de dos alambres, cada uno hecho de un metal homogéneo diferente o aleación. Los alambres son unidos en un extremo para formar una junta de medición. Esta junta de medición es expuesta al medio a ser medido. El otro extremo de los alambres van usualmente a un instrumento de medición, donde forman una junta de referencia. Cuando las dos juntas están a diferentes temperaturas, se producirá una f.e.m. (fuerza electromotriz).

Termopar



Metal A (+)

Junta de medición (junta caliente)

FEM = E

Junta de referencia (junta fría)

Metal B (-)

Zona de Temperatura T_1

Zona de Temperatura T_2

$T_1 \neq T_2$

Efectos en el termopar

La fem en la junta caliente es manifestación del Efecto Perlier, este efecto involucra la liberación o absorción de calor en la unión cuando fluye corriente a través de el y de la dirección del flujo depende si el efecto es de calentamiento o enfriamiento.

En el efecto Thompson se desarrolla una segunda fem, debido al gradiente de temperatura de un conductor sencillo y homogéneo.

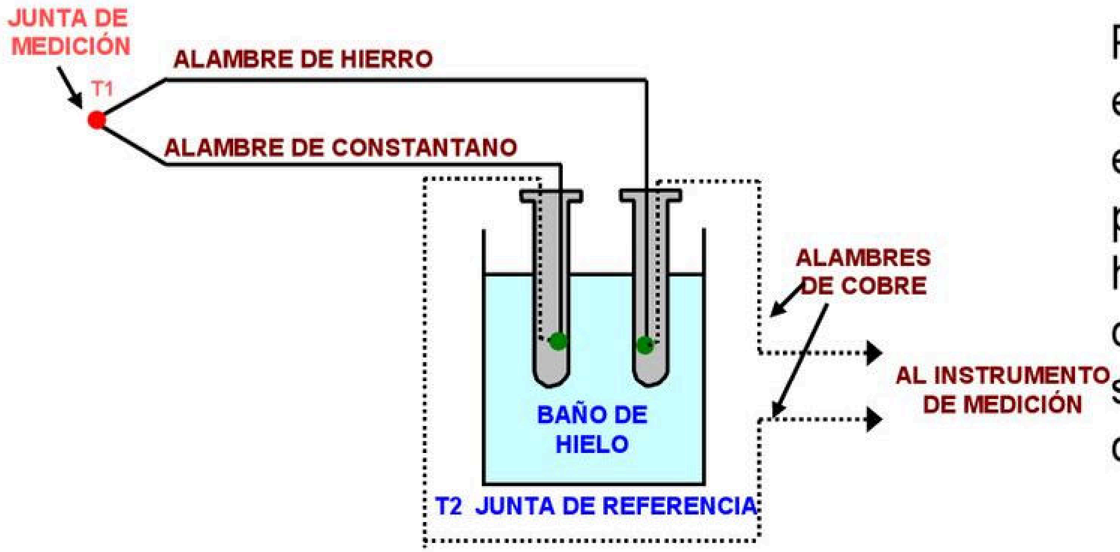
Leyes de la Termoelectricidad

1. En un circuito formado por un solo metal, la FEM generada es cero, cualquiera que sean las temperaturas.

2. Si se interrumpe un circuito termoeléctrico en una de sus uniones intercalándose un nuevo metal, la FEM generada por el circuito no cambia a condición de que los extremos del nuevo metal sean mantenidos a la misma temperatura que había en el punto de interrupción y de que la temperatura en la otra unión permanezca invariable.

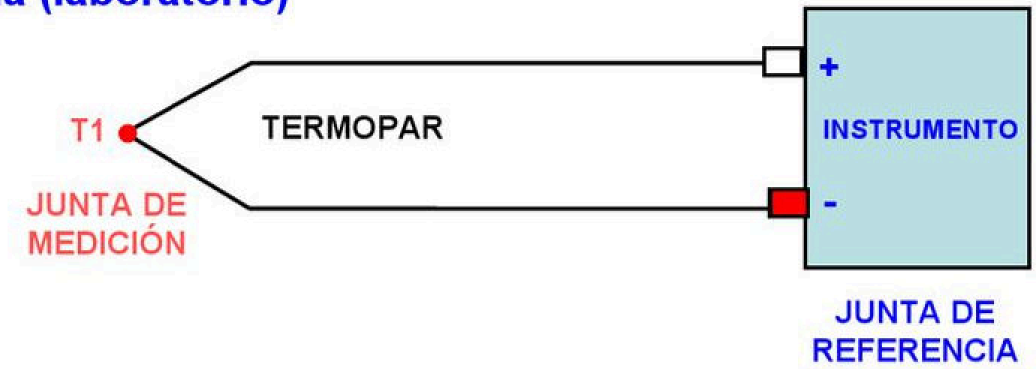
3. En un circuito formado por dos metales diferentes la FEM generada es diferente de cero, siempre y cuando las temperaturas sean diferentes en la unión caliente con respecto de la unión fría.

Compensación por junta fría


JUNTA DE MEDICIÓN
T1
ALAMBRE DE HIERRO
ALAMBRE DE CONSTANTANO
ALAMBRES DE COBRE
AL INSTRUMENTO DE MEDICIÓN
BAÑO DE HIELO
T2 JUNTA DE REFERENCIA

Para prevenir errores por efectos de la junta fría, se efectúa una compensación, por medio de un baño de hielo o por medio de circuitos compensadores que suministran una fem constante.

Junta de medición y de referencia (laboratorio)

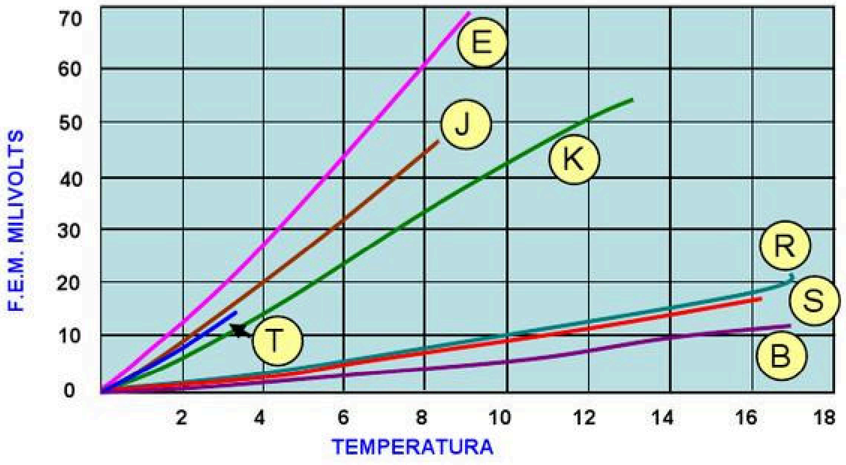

T1
JUNTA DE MEDICIÓN
TERMOPAR
+
-
INSTRUMENTO
JUNTA DE REFERENCIA

Junta de medición y de referencia (industrial)

Materiales de construcción

Tipo de Termopar	Materiales	Rango °C	Linealidad	Atmosfera recomendada	Características
B	Platino 30%, Rodio (+) Platino 6%, Rodio (-)	0 a 1860	Buena debajo de 500	Inerte, ligeramente oxidante	Alto costo
C	W5Re Tungsteno 5% Rhenium (+) W26Re Tungsteno 26% Rhenium	1650 a 2315	Buena	Oxidante	Alto costo
E	Cromo (+) Constantano (-)	-195 a 900	Buena	Oxidante	Alta resolucion mV/°C
J	Acero (+) Constantano (-)	-195 a 760	Buena, lineal de 150 a 450	Reductora, no corrosivos	El mas economico
K	Cromo (+) Alumel (-)	-190 a 1370	El mas lineal	Oxidante	Alta resistencia a la corrosion
R	Platino 13% Rodio (+) Platino (-)	-18 a 1700	Buena	Oxidante	Pequeño, respuesta rapida
S	Platino 10% Rodio (+) Platino (-)	-18 a 1760	Buena	Oxidante	Rango de temperatura
T	Cobre (+) Constantano (-)	-190 a 400	Buena	Oxidante o reductora	Temperatura limitada

Materiales de construcción

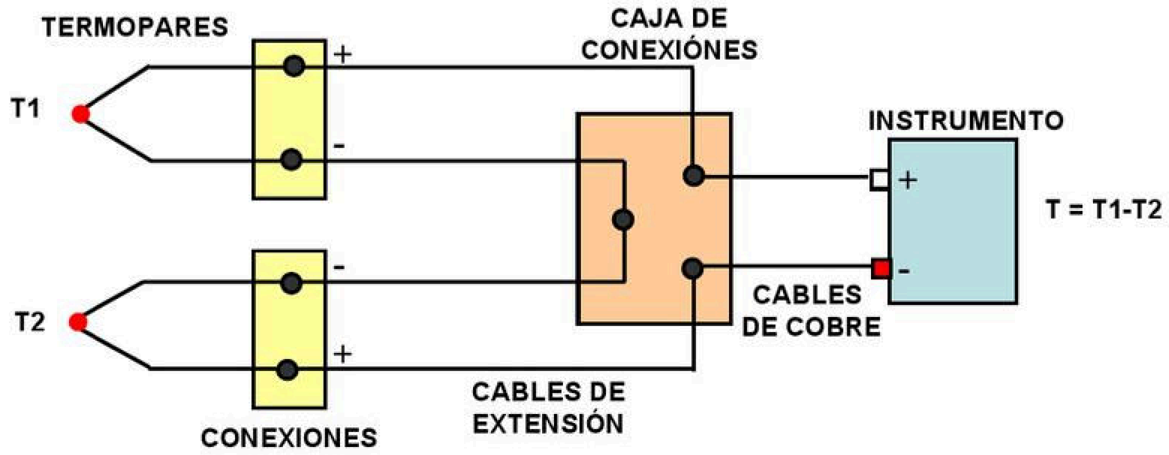


Relación de temperatura vs F.E.M. del termopar

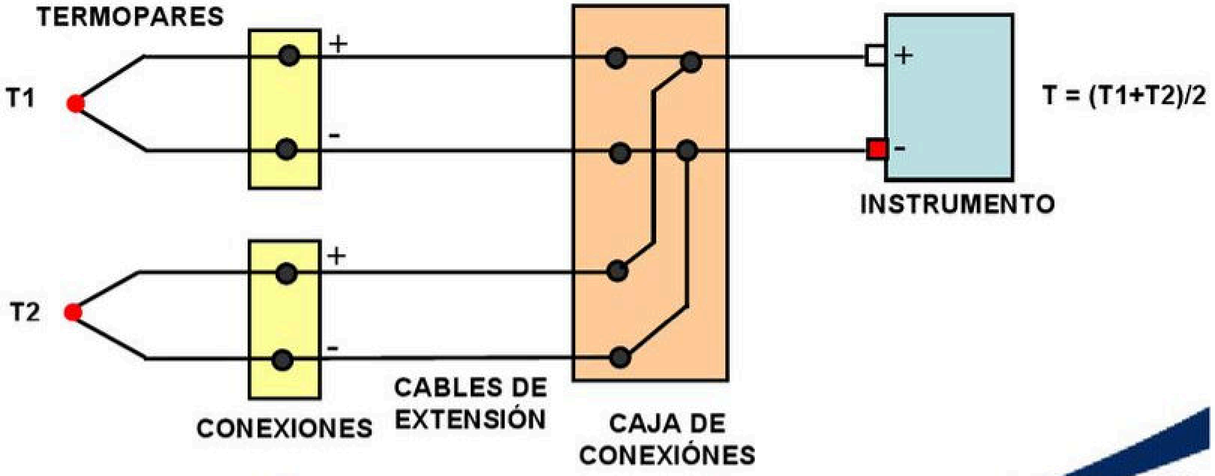
TIPO	DENOMINACIÓN	POSITIVO		NEGATIVO	
		SIMBOLO	MATERIAL	SIMBOLO	MATERIAL
T	COBRE-CONSTANTANO	TP	COBRE	TN	CONSTANTANO
J	FIERRO-CONSTANTANO	JP	FIERRO	JN	CONSTANTANO
E	CROMEL-CONSTANTANO	EP	CROMEL	EN	CONSTANTANO
K	CROMEL-ALUMEL	KP	CROMEL	KN	ALUMEL
S	PLATINO-Pt 10% RH	SP	PLATINO10% RH	SN	PLATINO
R	PLATINO-Pt 13% RH	RP	PLATINO13% RH	RN	PLATINO
B	Pt 30% RH-Pt 6% RH	BP	PLATINO 30% RH	BN	PLATINO 6% RH

Tipos de termopares

Formas de conexión de termopares

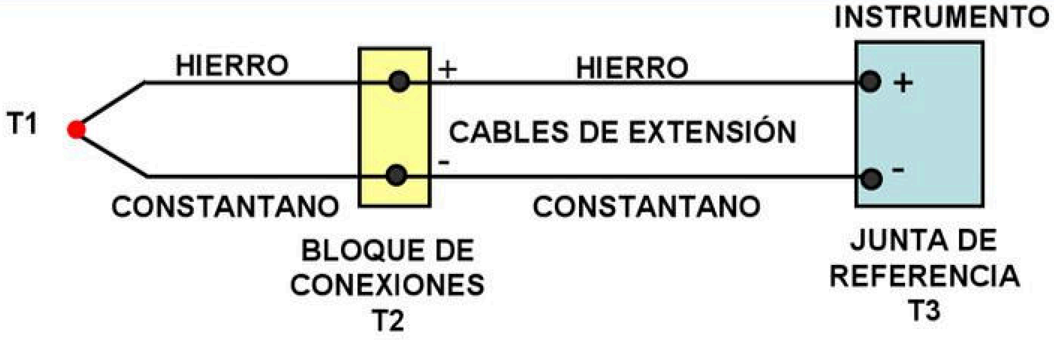

TERMOPARES
CAJA DE CONEXIÓNES
T1
+
-
INSTRUMENTO
+
T = T1-T2
-
-
T2
CABLES DE COBRE
+
CABLES DE EXTENSIÓN
CONEXIONES

Medición diferencial de temperatura con dos termopares

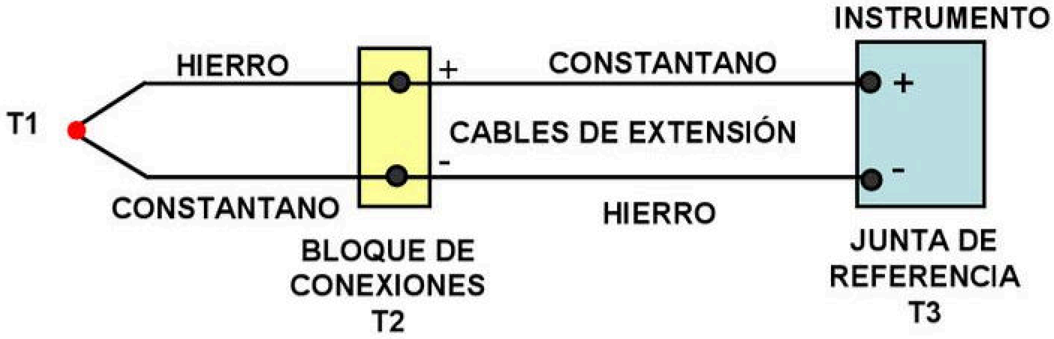

TERMOPARES
T1
+
-
+
-
T = (T1+T2)/2
INSTRUMENTO
T2
+
-
CABLES DE EXTENSIÓN
CONEXIONES
CAJA DE CONEXIÓNES

Termopares en paralelo

Formas de conexión de termopares


INSTRUMENTO
HIERRO
+
HIERRO
+
T1
CABLES DE EXTENSIÓN
-
-
CONSTANTANO
CONSTANTANO
BLOQUE DE CONEXIONES T2
JUNTA DE REFERENCIA T3

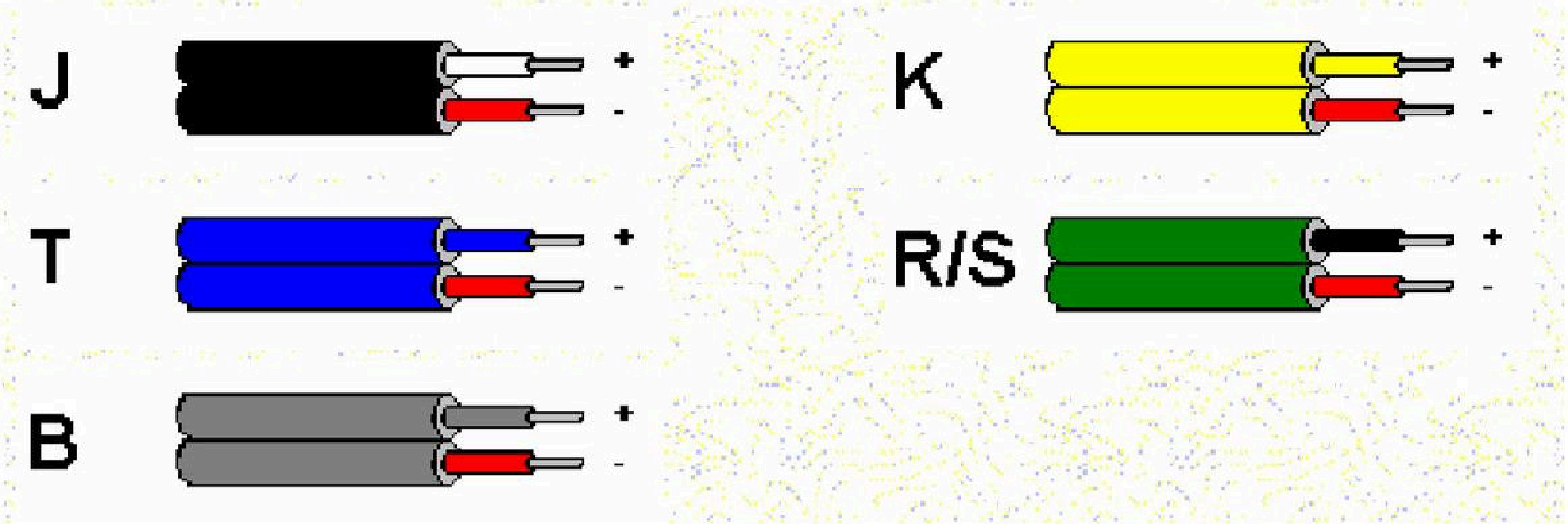
Conexiones correcta del termopar


INSTRUMENTO
HIERRO
+
CONSTANTANO
+
T1
CABLES DE EXTENSIÓN
-
-
CONSTANTANO
HIERRO
BLOQUE DE CONEXIONES T2
JUNTA DE REFERENCIA T3

Conexiones incorrecta del termopar

Cables de extensión de termopares

Los cables de extensión deben ser específicos para el tipo de termopar utilizado, aunque para una transmisión a gran distancia puede utilizarse cobre, cuidando la temperatura y composición homogénea del conductor.



Aspectos a cuidar en los termopares

1. Puntos de fusión.
2. Reacciones en varias atmósferas.
3. Salida termoeléctrica combinada.
4. Conductancia eléctrica.
5. Estabilidad.
6. Repetibilidad.
7. Costo.
8. Facilidad de manejo y fabricación.

Ventajas y desventajas en los termopares

Ventajas:

Determinación de la temperatura se realiza prácticamente en un punto

La capacidad calorífica de un termopar puede ser muy pequeña, con lo que la respuesta a las variaciones de temperatura sería muy rápida.

La salida del sensor es una señal eléctrica producida por el mismo termopar y por tanto no es necesario alimentarlo con ninguna corriente exterior

Desventajas:

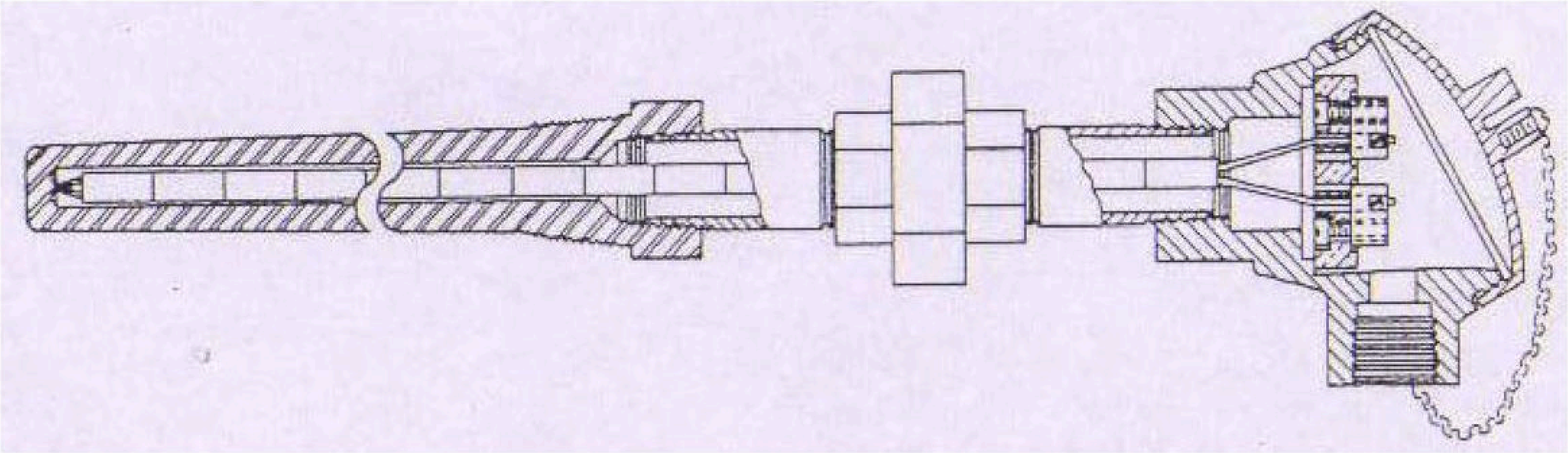
Es necesario mantener la unión de referencia a una temperatura constante y conocida pues la incertidumbre en la temperatura de referencia produce una del mismo orden en la medida.

Características de los termopares

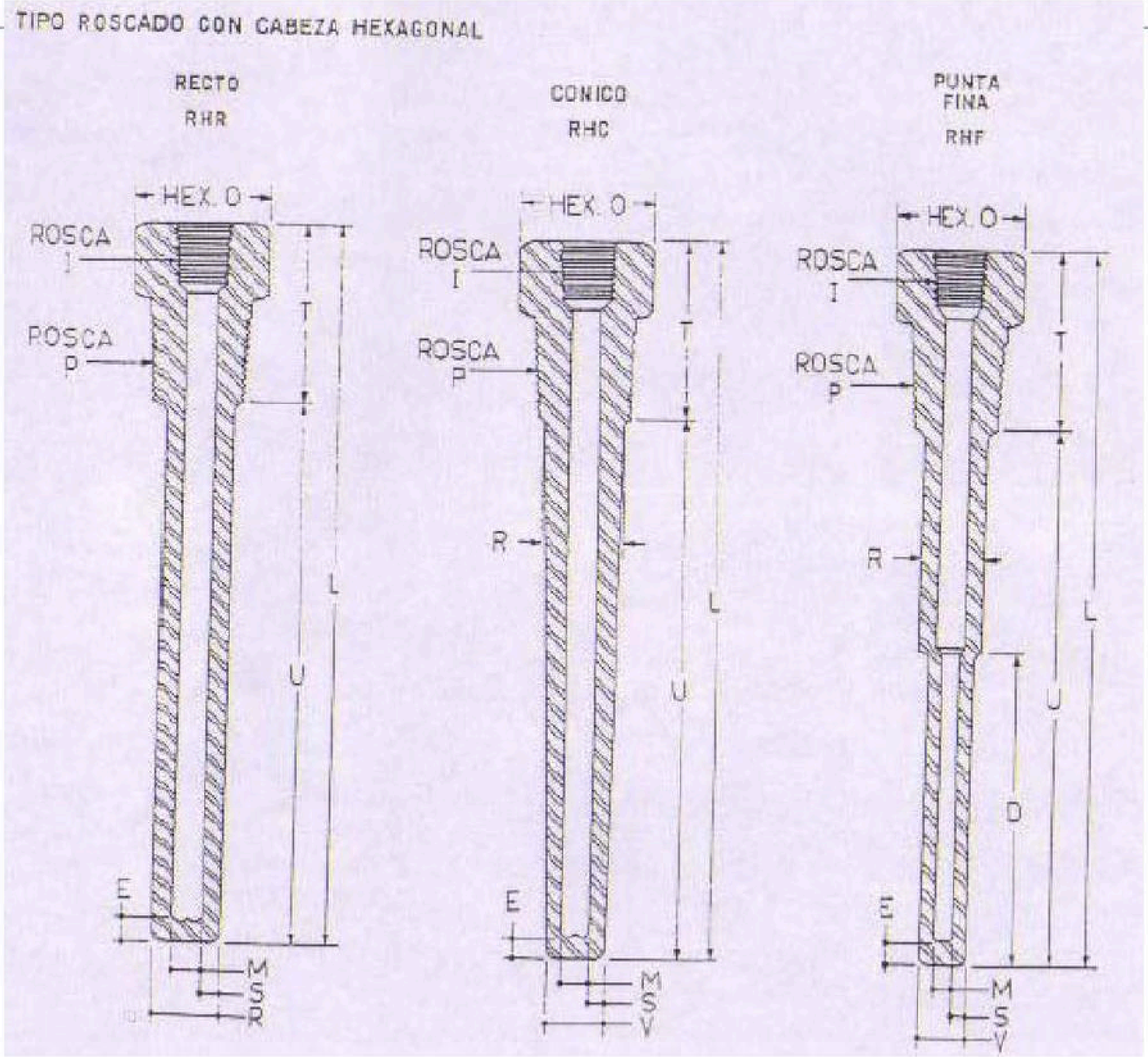
VENTAJAS	LIMITACIONES
Relativamente baratos	Relación de voltaje–temperatura no lineal
Amplia variedad de diseños comerciales disponibles	Sujetos a envejecimiento y contaminación de la junta caliente
La salida eléctrica es apropiada para accionar dispositivos de indicación y control	Se deben evitar altos gradientes de temperatura
Largas distancias de transmisión son posibles	Su lectura no es tan directa y se requiere procesamiento en su indicación
Tamaño pequeño y construcción robusta	Se deben escoger los materiales adecuados para resistir atmósferas oxidantes y reductoras
Buena exactitud y velocidad de respuesta	Baja exactitud cuando se compara con los RTD´s
Fácil calibración y reproducibilidad	Los voltajes en los conductores pueden afectar la calibración
Amplio rango desde 0 absolutos hasta 2500 oC	Susceptibles a ia inducción de ruidos
No tiene partes móviles	En sistemas de control digital requieren tarjetas especiales de entrada

Termopozo

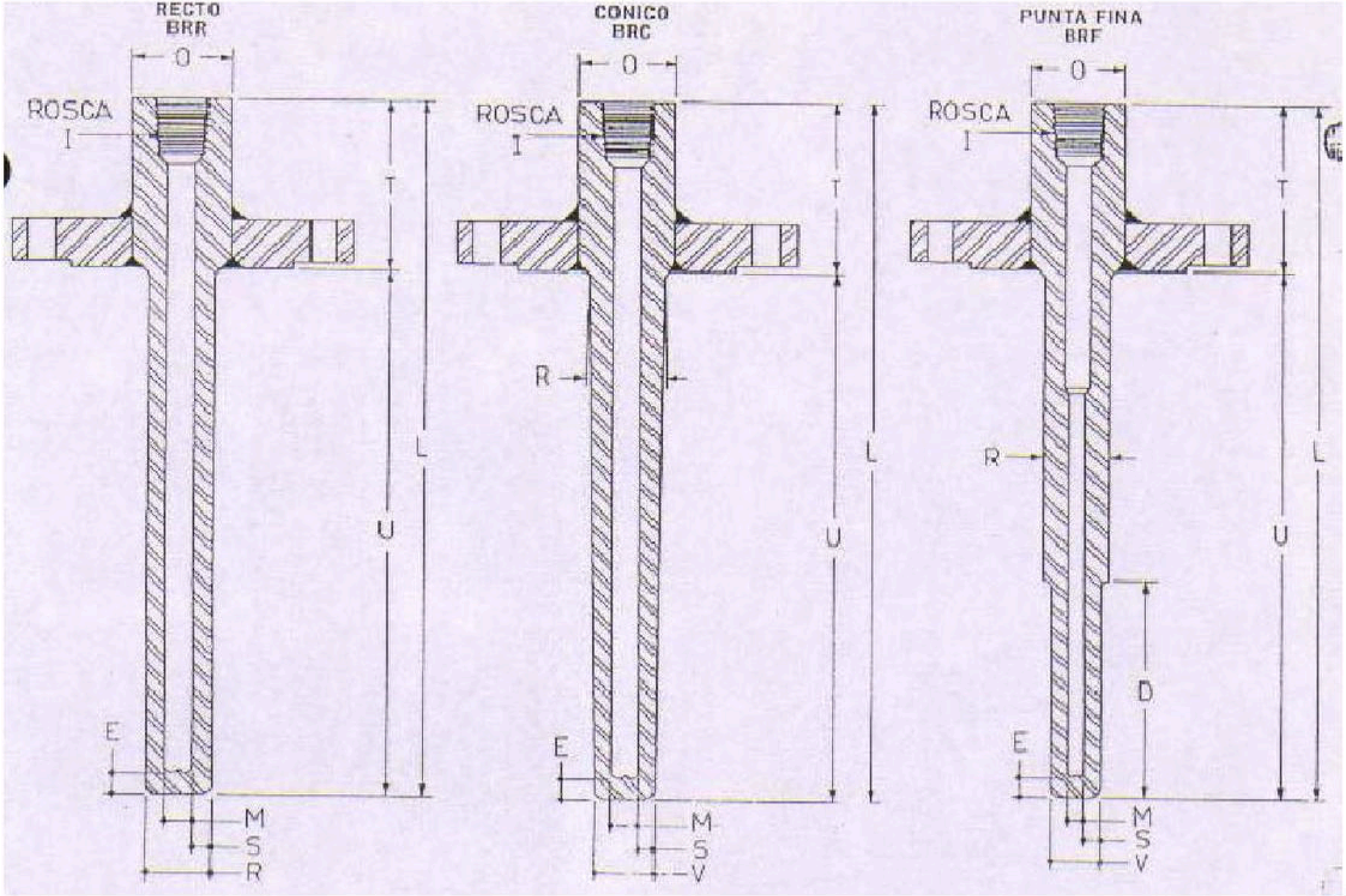
El termopozo se utiliza como elemento de protección del termopar y generalmente viene asociado con este.



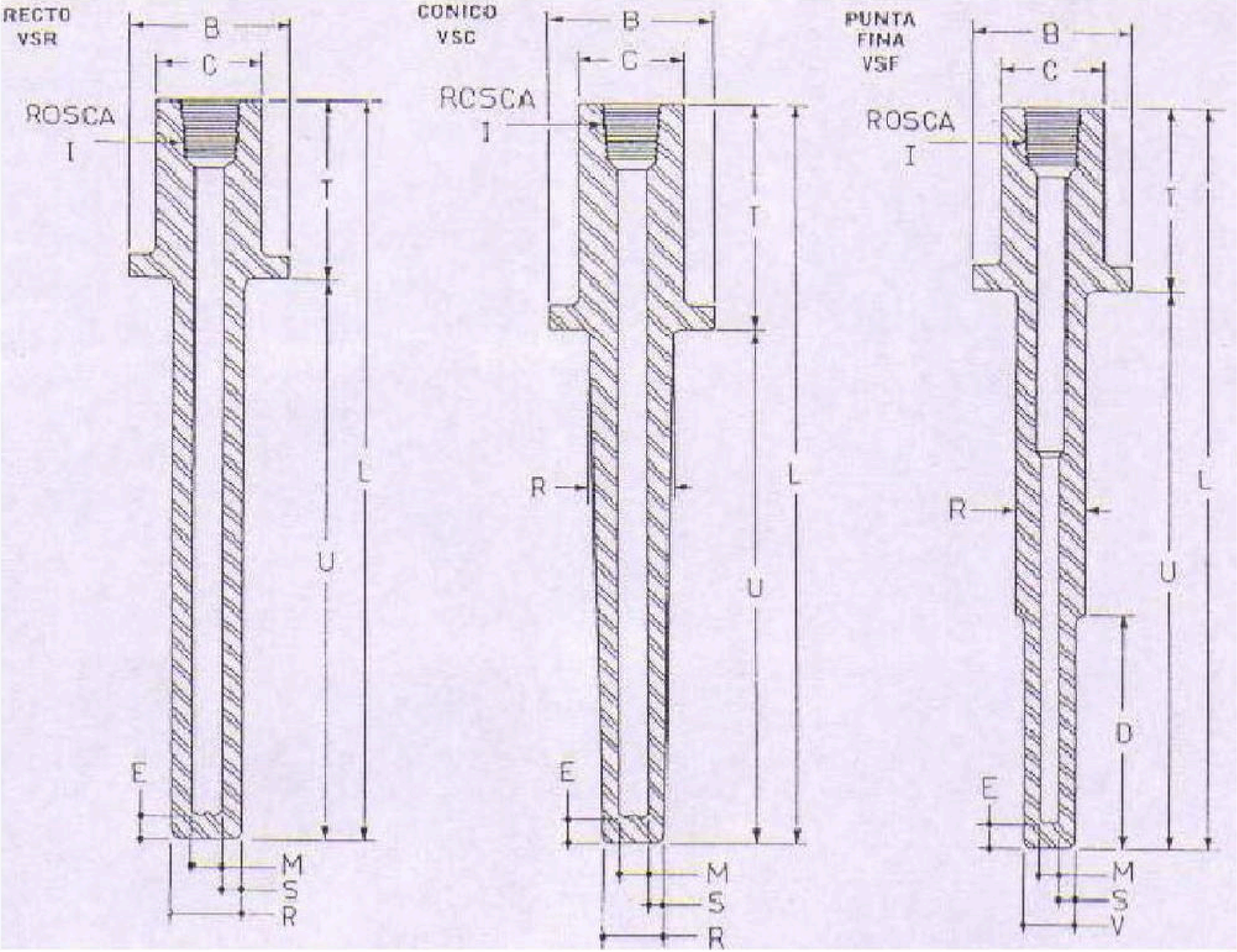
Termopozo tipo roscado


TIPO ROSCADO CON CABEZA HEXAGONAL
RECTO
RHR
CONICO
RHC
PUNTA
FINA
RHF
HEX. O
ROSCA
I
ROSCA
P
T
L
U
R
D
E
M
S
R
V

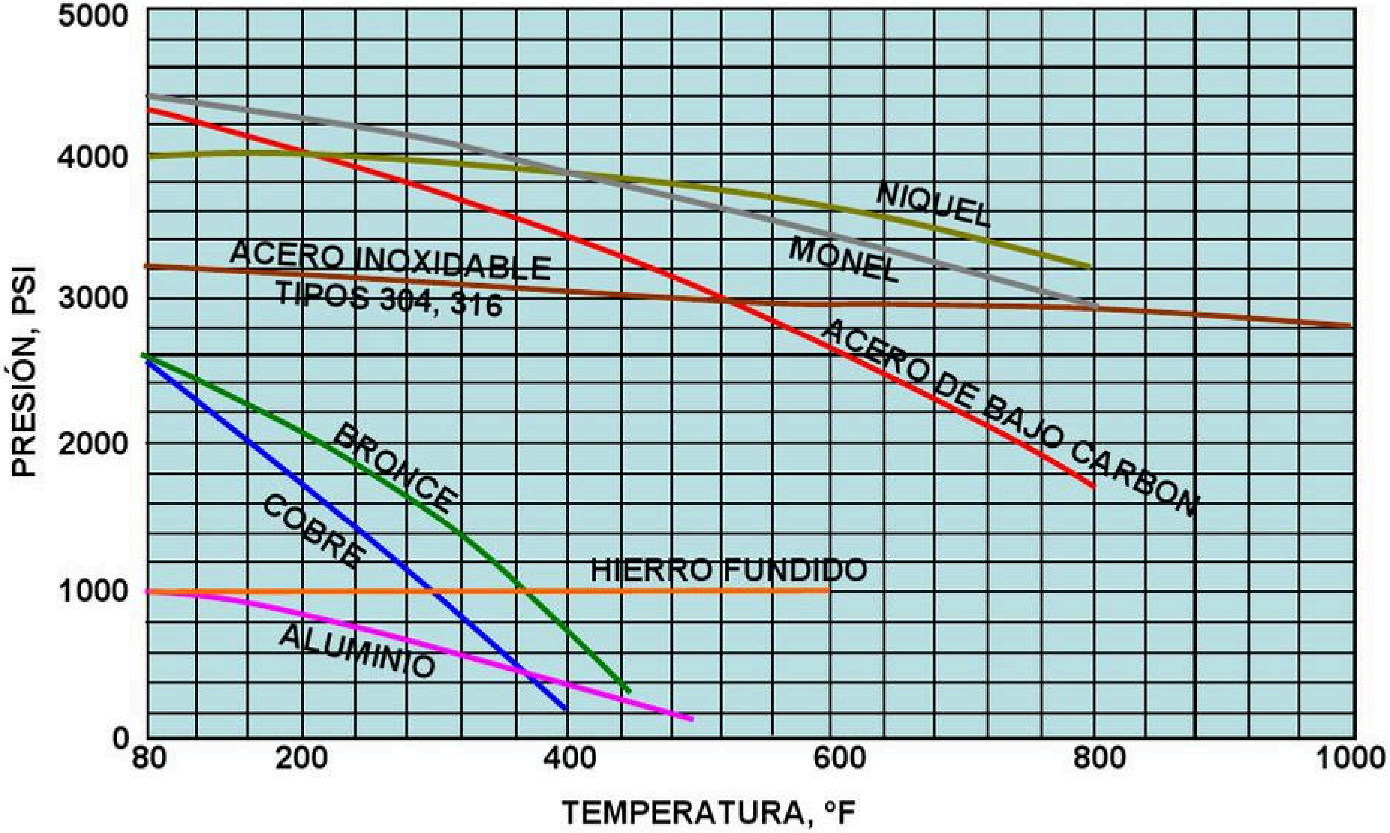
Termopozo tipo bridado


RECTO
BRR
CONICO
BRC
PUNTA FINA
BRF
O
ROSCA
I
T
U
L
R
D
E
M
S
V

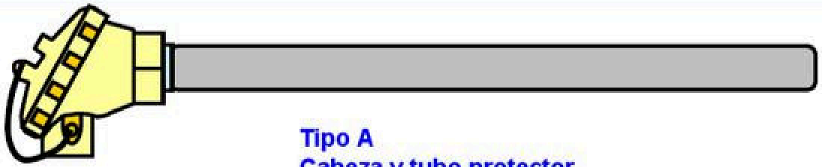
Termopozo tipo Van Stone


RECTO
VSR
CONICO
VSC
PUNTA
FINA
VSF
B
C
ROSCA
I
T
L
U
R
D
E
M
S
R
V

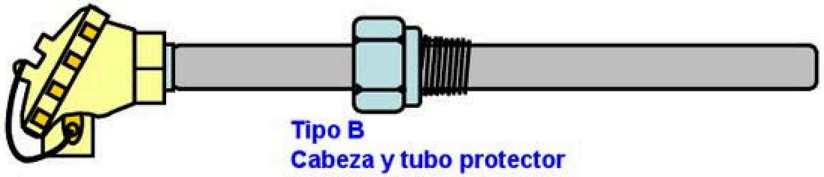
Rangos de P y T de termopozos



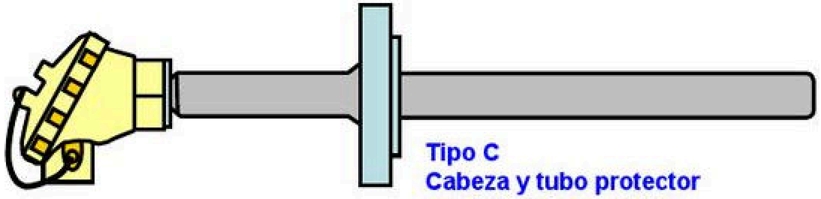
Tipos de termopares con su termopozo



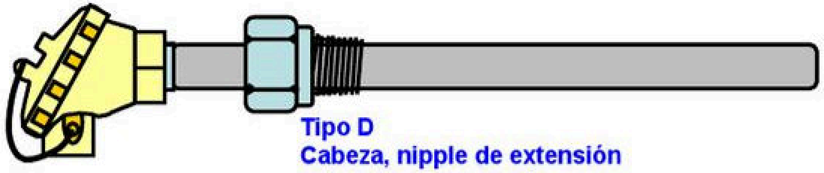
Tipo A
Cabeza y tubo protector



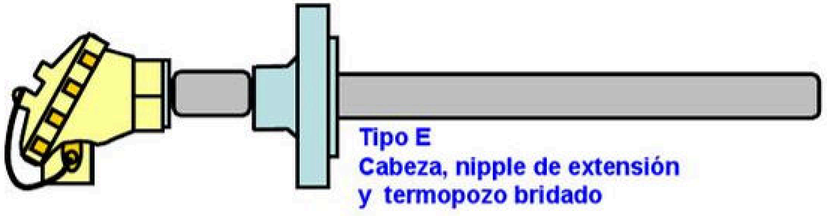
Tipo B
Cabeza y tubo protector
con buje de montaje



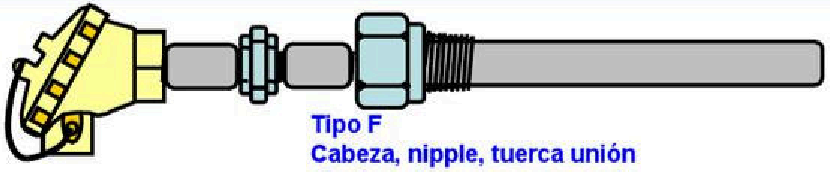
Tipo C
Cabeza y tubo protector
con brida de montaje



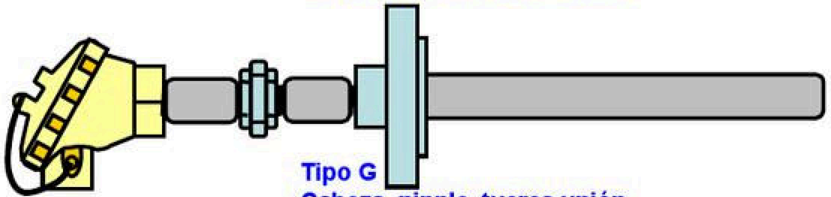
Tipo D
Cabeza, nipple de extensión
y termopozo roscado



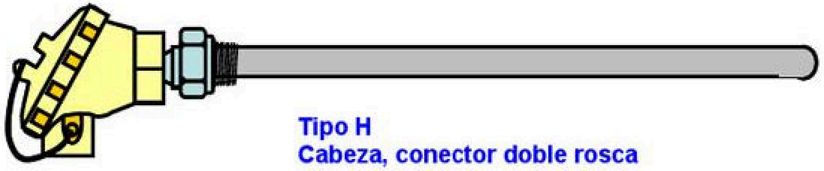
Tipo E
Cabeza, nipple de extensión
y termopozo bridado



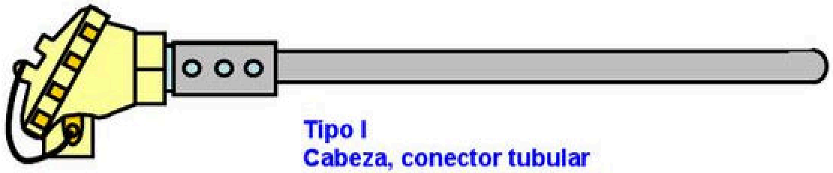
Tipo F
Cabeza, nipple, tuerca unión
nipple y termopozo roscado



Tipo G
Cabeza, nipple, tuerca unión
nipple y termopozo bridado



Tipo H
Cabeza, conector doble rosca
y tubo protector cerámico



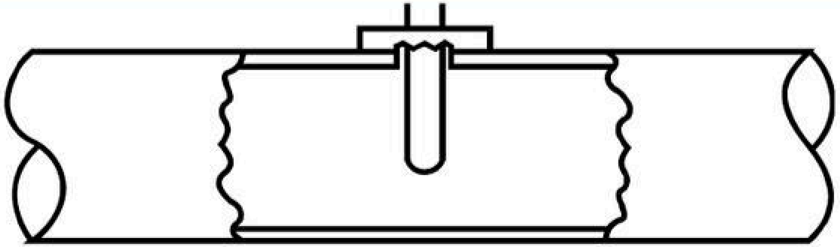
Tipo I
Cabeza, conector tubular
y tubo protector cerámico

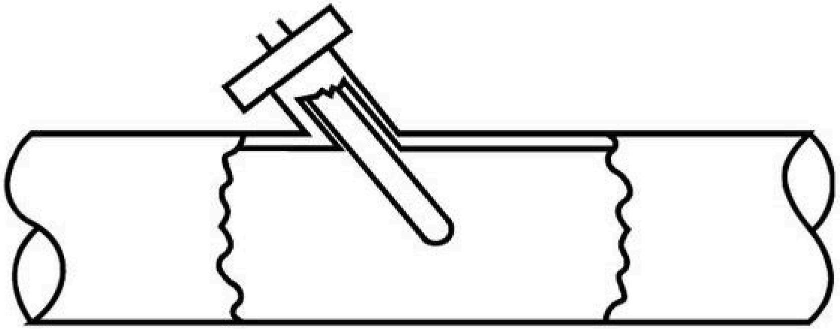
Un diseño para cada aplicación

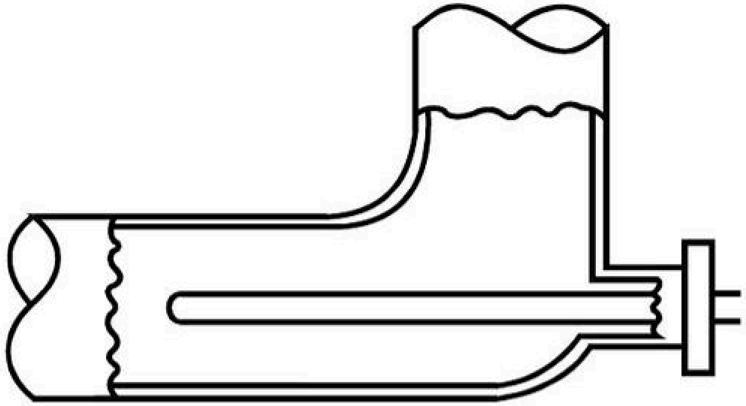
ESPECIFICAR:

- Calibración
- Materiales
- Dimensiones
- Otros accesorios

Instalación del termopozo


(A) NORMAL


(B) ANGULADO


(C) EN CODO

Detectores de Temperatura tipo resistencia (RTD)

El RTD o bulbo de resistencia es un medidor de la variación de la resistencia en función de la variación de la temperatura y solo se debe disponer de un alambre bobinado de metal puro, que permita tener una resistencia alta. La ecuación que lo rige, de acuerdo a Siemens en 1871, es:

$$R_t = R_0 (1 + aT + bT^2 + cT^3)$$

donde R_0 es la resistencia a la temperatura de referencia en ohms (Ω), R_t es la resistencia a la temperatura en Ω, *a* es el coeficiente de temperatura del material y b, c son coeficientes calculados.

Detectores de Temperatura tipo resistencia (RTD)

El elemento consiste en un arrollamiento de hilo muy fino del conductor adecuado, bobinado entre capas de material aislante y protegido con un revestimiento de vidrio o cerámica.

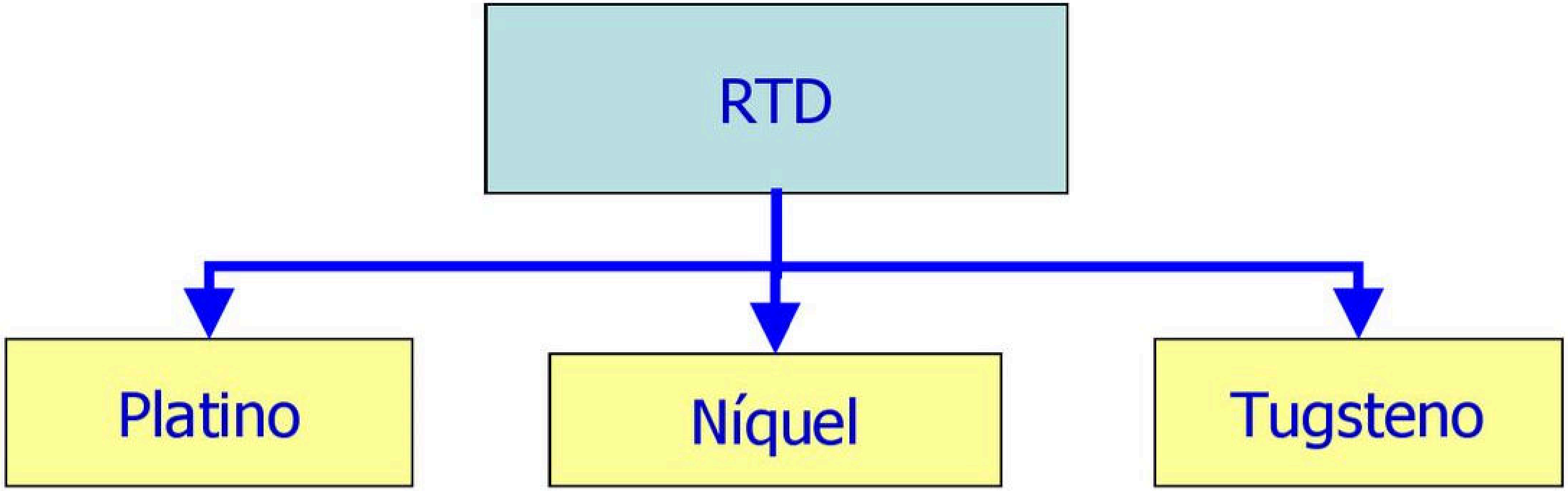
El material que forma el conductor, se caracteriza por el "coeficiente de temperatura de resistencia" este se expresa en un cambio de resistencia en ohmios del conductor por grado de temperatura a una temperatura específica. Para casi todos los materiales, el coeficiente de temperatura es positivo, pero para otros muchos el coeficiente es esencialmente constante en grandes posiciones de su rango útil.

Características de los materiales que forman el conductor de la resistencia

- Alto coeficiente de temperatura de la resistencia, ya que de este modo el instrumento de medida será muy sensible.
- Alta resistividad, ya que cuanto mayor sea la resistencia a una temperatura dada, mayor será la variación por grado; mayor sensibilidad.
- Relación lineal resistencia-temperatura.
- Rigidez y ductilidad, lo que permite realizar los procesos de fabricación de estirado y arrollamiento del conductor en las bobinas de la sonda a fin de obtener tamaños pequeños (rapidez de respuesta).

Detectores de Temperatura tipo resistencia (RTD)

El metal que presenta una relación resistencia-temperatura altamente estable es el Platino. Otros metales utilizados es el níquel (poco lineal), tungsteno (temperaturas mayores a 100oC) y cobre (bajo rango).



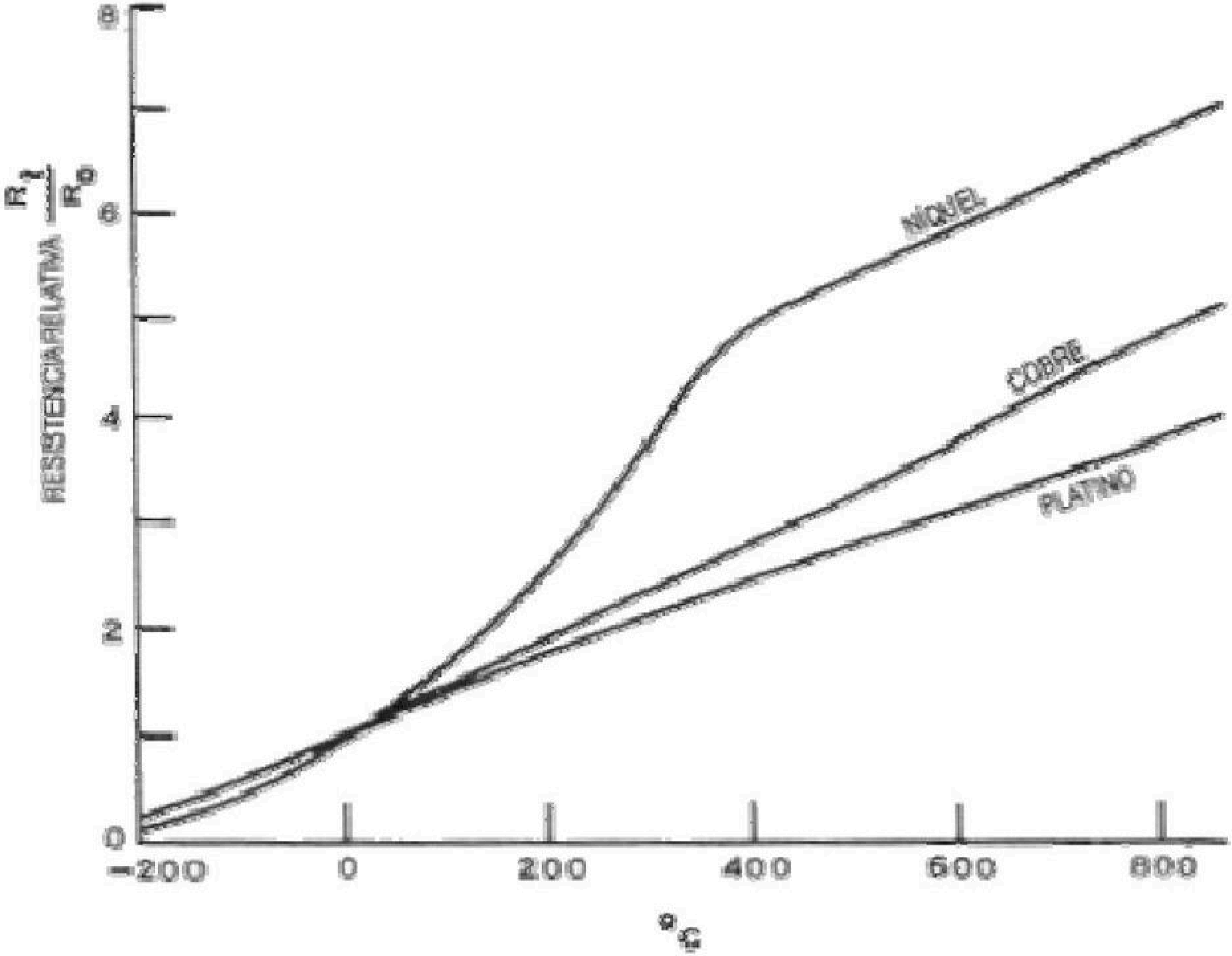
RTD

Platino

Níquel

Tugsteno

Curvas de respuesta de RTD



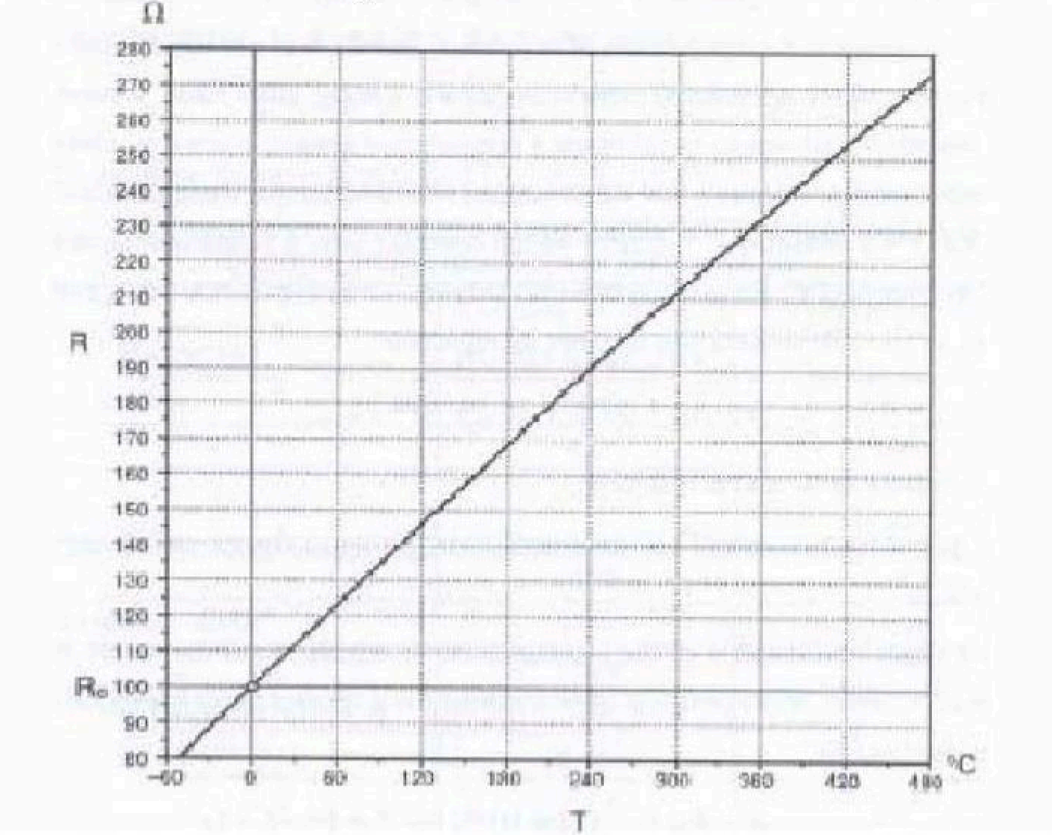
RTD de Platino

Es el material más adecuado por su precisión y estabilidad, con el inconveniente de su costo. En general el RTD de Pt utilizada en la industria tiene una resistencia de 100 ohms a 0 ºC, y por esta razón, y por las ventajosas propiedades físicas del Pt fue elegido este termómetro como patrón para la determinación de temperaturas entre los puntos fijos desde el punto del O2 (-183 ºC) hasta el punto de Sb (630 ºC).

Con un termómetro de este tipo convenientemente graduado, se pueden hacer medidas con una exactitud de 0,01 ºC y cambios de temperatura de 0,001 ºC pueden medirse fácilmente.

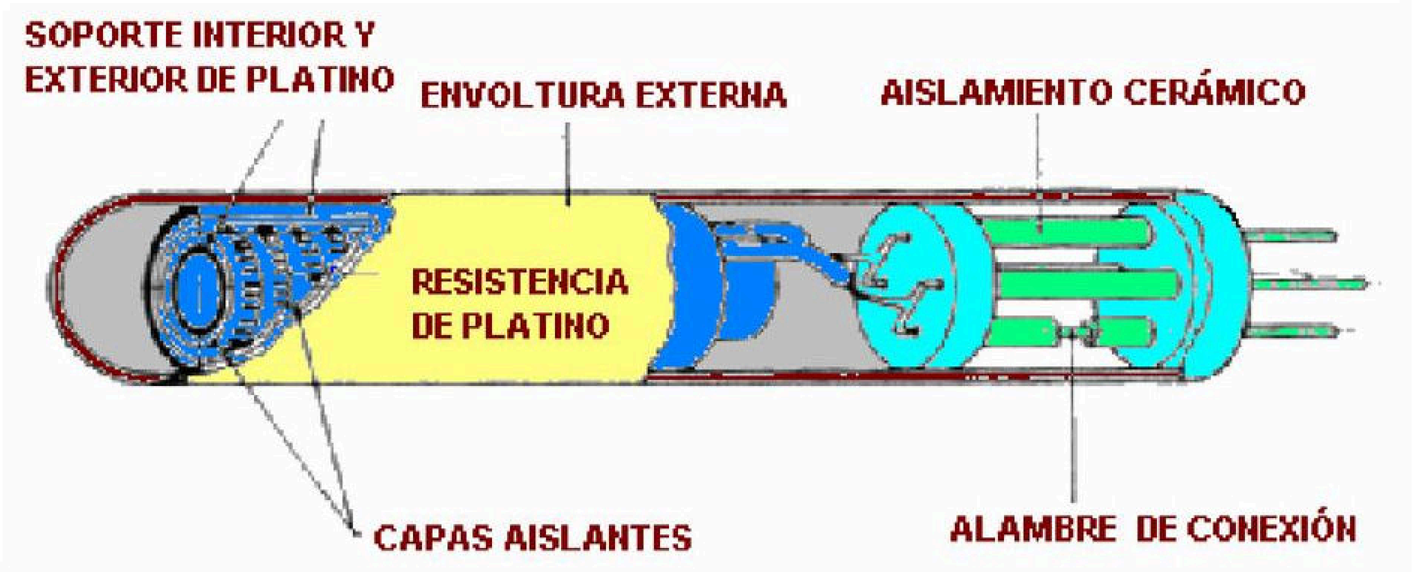
RTD de Platino

Los arrollamientos están protegidos contra desperfectos por tubos de metal y dispuestos de manera que permiten rápido intercambio de calor en el arrollamiento y el el tubo. El RTD de platino opera en un rango de -200 °C a 600 °C.



Construcción del RTD de platino

Es un alambre fino embobinado en un núcleo de mica, vidrio u otro material, protegido por una cubierta, relleno de óxido de magnesio o óxido de aluminio


SOPORTE INTERIOR Y EXTERIOR DE PLATINO
ENVOLTURA EXTERNA
AISLAMIENTO CERÁMICO
RESISTENCIA DE PLATINO
CAPAS AISLANTES
ALAMBRE DE CONEXIÓN

RTD de Niquel

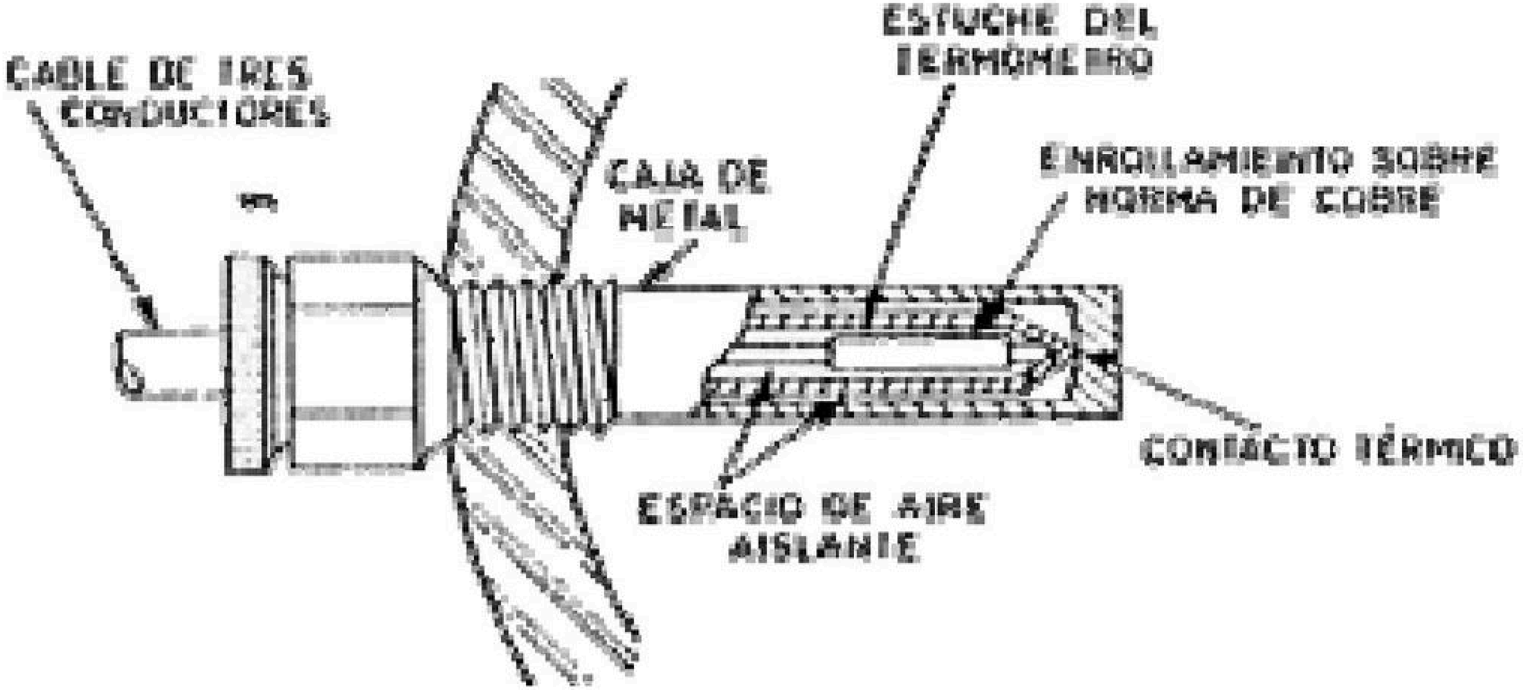
Mas barato que el Pt y posee una resistencia más elevada con una mayor variación por grado, el interés de este material lo presenta su sensitividad, aunque no es lineal, ya que en el intervalo de temperatura de 0 a 100 ºC, la resistencia de Níquel aumenta en un 62% mientras que el Pt solo aumenta en un 38%.

Sin embargo los problemas relativos a su oxidación u otro tipo de deterioro químico, limitan su utilización e incluso ponen en peligro la reproducibilidad de sus medidas.

Otro problema añadido es la variación que experimenta su coeficiente de resistencia según los lotes fabricados.

RTD de Niquel

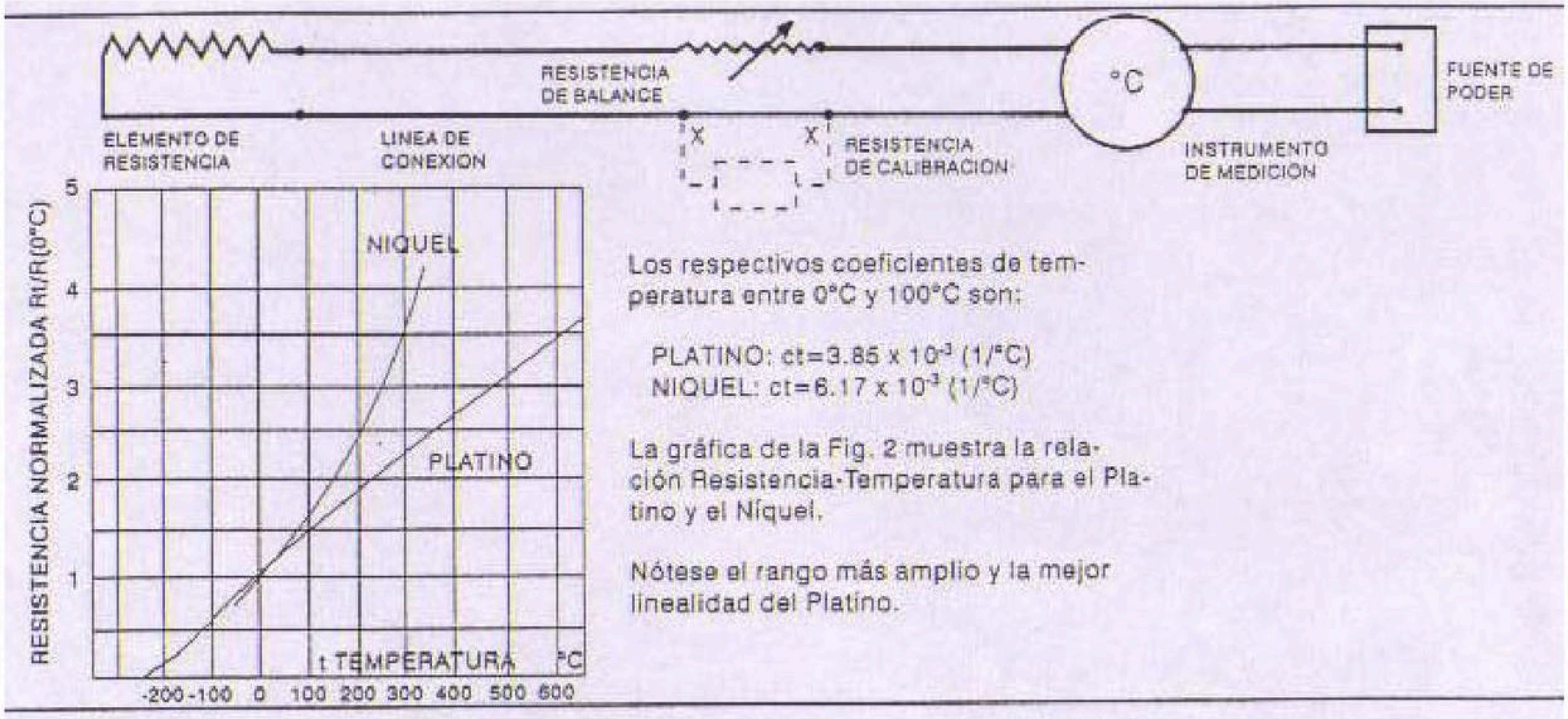
Los termómetros de resistencia de níquel se usan mucho. Su intervalo de valor de Ro es de 10 a 10000 ohms.


CABLE DE TRES CONDUCTORES
ESTUCHE DEL TERMÓMETRO
CAJA DE METAL
ENROLLAMIENTO SOBRE HORMA DE COBRE
CONTACTO TÉRMICO
ESPACIO DE AIRE AISLANTE

RTD de Cobre

El cobre tiene una variación de resistencia uniforme en el rango de temperatura cercano a la ambiente; es estable y barato, pero tiene el inconveniente de su baja resistividad, ya que hace que las variaciones relativas de resistencia sean menores que las de cualquier otro metal. Por otra parte sus características químicas lo hacen no útil por encima de los 180 ºC.

RTD's


RESISTENCIA DE BALANCE
°C
FUENTE DE PODER
ELEMENTO DE RESISTENCIA
LINEA DE CONEXION
X
X
RESISTENCIA DE CALIBRACION
INSTRUMENTO DE MEDICION
RESISTENCIA NORMALIZADA Rt/R(0°C)
5
4
3
2
1
NIQUEL
PLATINO
t TEMPERATURA °C
-200
-100
0
100
200
300
400
500
600

Los respectivos coeficientes de temperatura entre 0°C y 100°C son:

PLATINO: $ct=3.85 \times 10^{-3}$ (1/°C)
NIQUEL: $ct=6.17 \times 10^{-3}$ (1/°C)

La gráfica de la Fig. 2 muestra la relación Resistencia-Temperatura para el Platino y el Níquel.

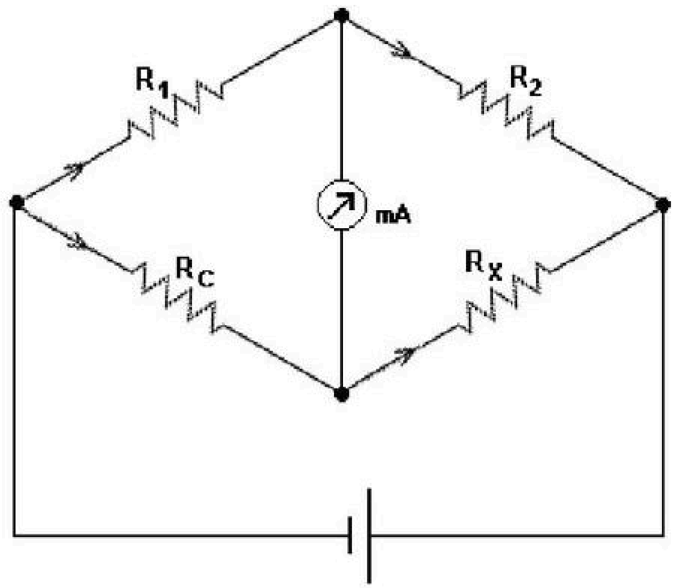
Nótese el rango más amplio y la mejor linealidad del Platino.

RTD's

Metal	*Intervalo útil de temperatura en ºC*	*Costo relativo*	*Resistencia de Sonda a 0ºC, ohmios*	*Precisión ºC*
Platino	-200 a 950	Alto	25,100, 130	0,01
Níquel	-150 a 300	Medio	100	0,50
Cobre	-200 a 120	Bajo	10	0,10

Puente de Wheatstone para medición

La medición de resistencia en el RTD se realiza con un Puente de Wheatstone:

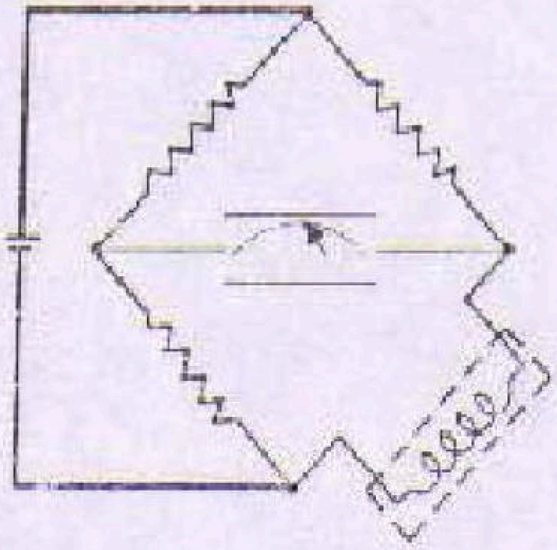


Nos permite determinar el valor de R_X desconocida, conocidas R_1, R_2 y R_C Cuando el miliamperímetro indica 0 mA. se dice que el puente está equilibrado.

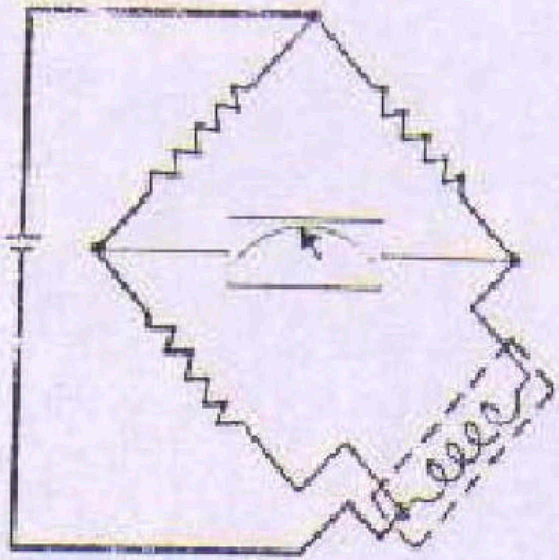
La condición de equilibrio es:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_X}{R_C}$$

Puente de Wheatstone para medición



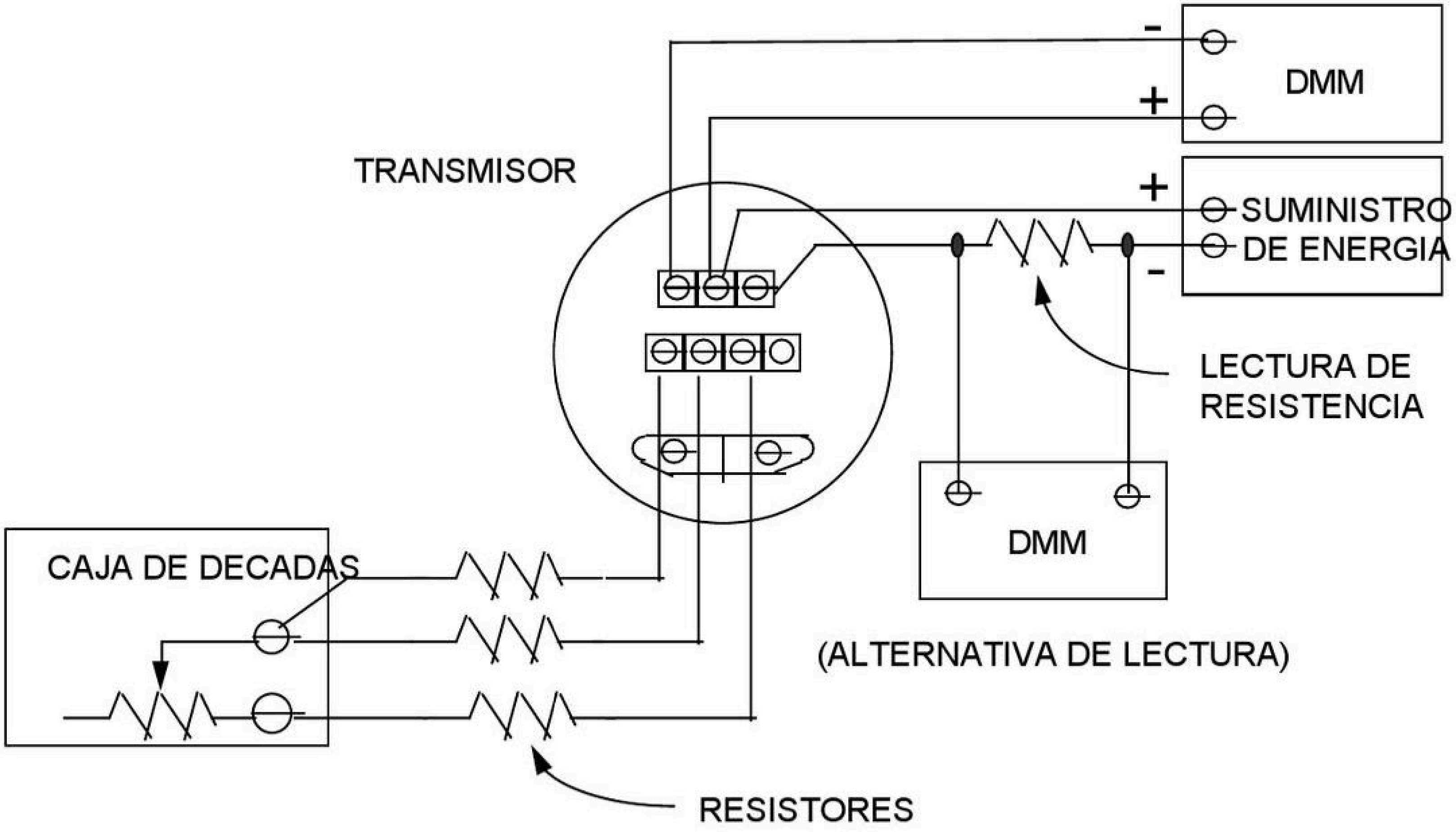
a) Puente de Wheatstone de 2 cables



b) Puente de Wheatstone de 3 cables

Para compensar las longitudes muy grandes.

Calibración del RTD


DMM
-
+
TRANSMISOR
+
SUMINISTRO
DE ENERGIA
-
LECTURA DE
RESISTENCIA
DMM
(ALTERNATIVA DE LECTURA)
CAJA DE DECADAS
RESISTORES

Courtesy of Rosemount, Inc.

Características de RTD's

VENTAJAS	LIMITACIONES
Asociado en un sistema puede tener alta exactitud	Precio alto
Pueden medir rangos estrechos de temperatura (5 oC)	Algunas configuraciones son voluminosas y frágiles
Buena repetibilidad, no afectada por cambios térmicos	Tienen problemas de autocalentamiento
Respuesta rápida	La resistencia de los contactos puede alterar la medición
Sensores de tamaño pequeño están disponibles	De vida corta si son sometidos a vibraciones y excesos mecánicos
No requieren compensación	En sistemas de control digital requieren tarjetas especiales de entrada

Termistor

Son resistores variables con la temperatura, que están basados en semiconductores. La principal característica de este tipo de resistencias es que tienen una sensibilidad del orden de diez veces mayor que las metálicas y aumenta la resistencia al disminuir la temperatura.

Los termistores son semiconductores electrónicos con un coeficiente de temperatura de resistencia negativo de valor elevado, con variaciones rápidas y extremadamente grandes para cambios relativamente pequeños en la temperatura.

Su fundamento esta en la dependencia de la resistencia de los semiconductores con la temperatura, debida a la variación con esta del numero de portadores reduciéndose la resistencia, y de ahí que presenten coeficiente de temperatura negativo y varia con la presencia de impurezas.

Termistor

Existe un límite impuesto por la temperatura de fusión, por lo que se debe evitar el autocalentamiento.

En cuanto a la estabilidad del termistor con el tiempo y el medio, esta se logra sometiéndolos a un envejecimiento artificial. La segunda se consigue recubriendo el termistor con vidrio si el medio donde va a trabajar le afecta. La intercambiabilidad es otro parámetro a considerar, pues sólo está garantizada para modelos especiales. Por ello, al sustituir un termistor en un circuito suele ser necesario reajustarlo, aunque se trate de una unidad del mismo modelo.

Por su alta sensibilidad permiten obtener alta resolución en la medida de temperatura. Dada su alta resistividad, pueden tener masa muy pequeña, lo que les confiere una velocidad de respuesta rápida y permite emplear hilos largos para su conexión, aunque éstos vayan a estar sometidos a cambios de temperatura, porque ellos tienen mayor resistencia y coeficiente de temperatura. El costo es muy bajo.

Ecuación del termistor

$$R_t = R_0^{\theta[(1/T)-(1/T_0)]}$$

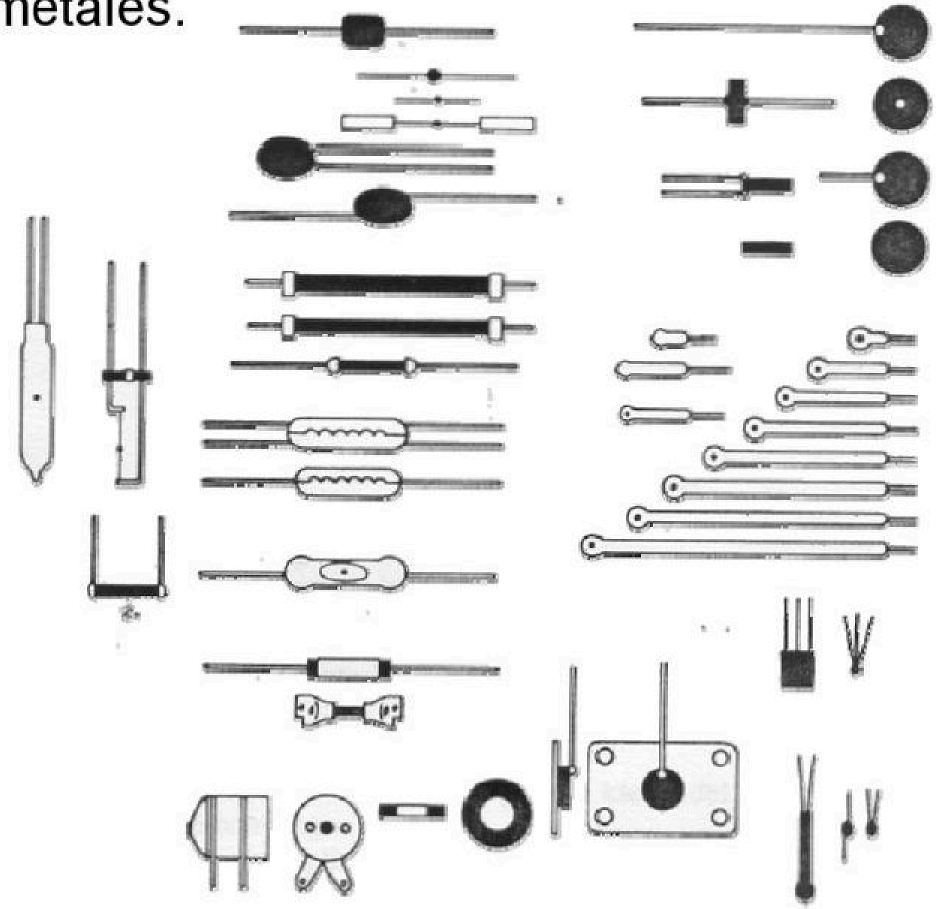
R_0.- resistencia a la temperatura de referencia T_0, en ohms.

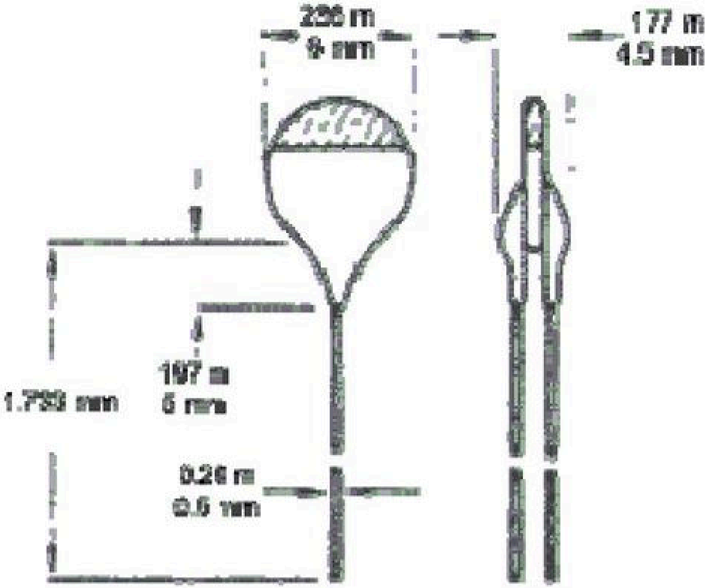
R_t.- resistencia a la temperatura medida T, en ohms.

Ɵ.- Constante por fabricante

Construcción del termistor

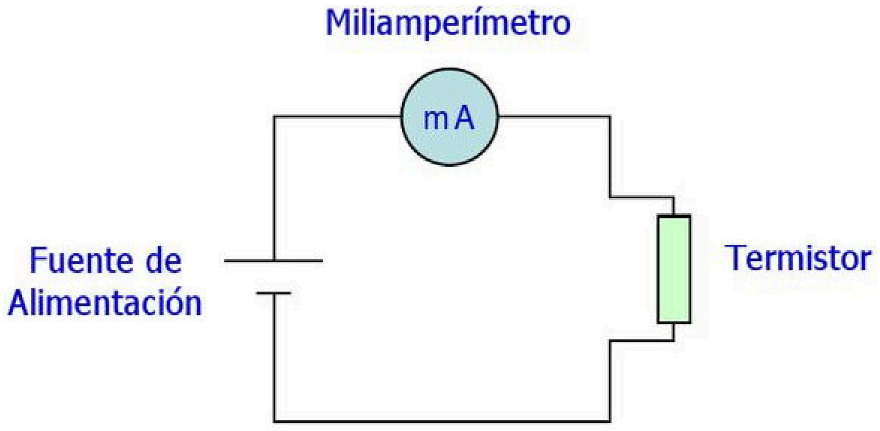
Los termistores están encapsulados y se fabrican con óxidos de níquel, manganeso, hierro, cobalto, cobre, magnesio, titanio y otros metales.



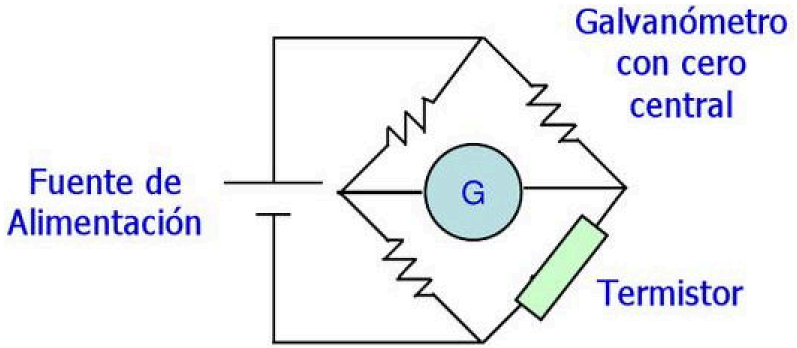

236 m
9 mm
177 m
4.5 mm
197 m
5 mm
1.793 mm
0.24 m
0.6 mm

Medición con el termistor

La medición se realiza con microamperímetro y con Puente de Wheatstone:


Miliamperímetro
mA
Fuente de Alimentación
Termistor

Con Miliamperímetro


Galvanómetro con cero central
G
Fuente de Alimentación
Termistor

Con Galvanómetro

Ventajas del termistor

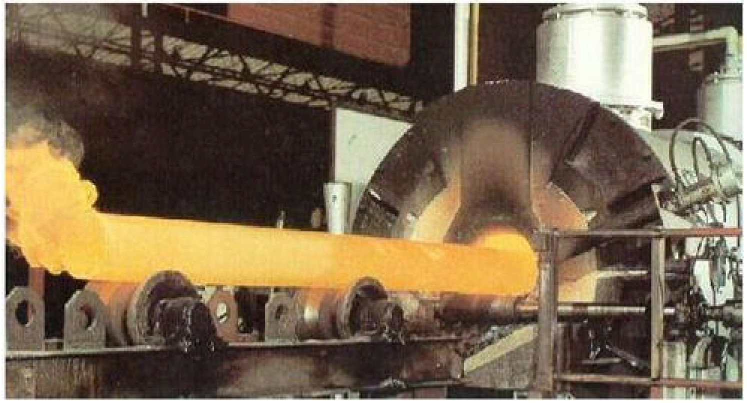
VENTAJAS	LIMITACIONES
Alta sensitividad	Comportamiento no lineal
De tamaño pequeño y numerosas configuraciones disponibles	Poca experiencia en su uso
Respuesta rápida	EL intercambio de elementos es problemático
Bueno para rangos estrechos	Menos estable que otros dispositivos eléctricos
Su estabilidad aumenta con el envejecimiento (el 90% se da en la primera semana)	No disponible para rangos amplios
EL efecto de los cables y de la temperatura ambiente en el medidor se elimina con valores de resistencia altos	Valores altos de resistencia requieren líneas de potencia blindadas, filtros o voltajes de corriente directa
Bajo costo	

Pirómetro

Un pirómetro en un instrumento utilizado para medir, por medios eléctricos, elevadas temperaturas por encima del alcance de cualquier otro medidor.

Existen dos tipos básicos:

- Los pirómetros de radiación que se basan en la ley de Stephan - Boltzman y se destinan a medir elevadas temperaturas, arriba de 1600 °C.
- Los pirómetros ópticos que se basan en la ley de distribución de la radiación térmica de Wien y con ellos se han definido puntos por encima de 1063 °C.



Pirómetro de radiación

Este instrumento no necesita estar en contacto intimo con el objeto caliente, se basa en la ley de Stephan Boltzmann de energía radiante, la cual establece que la superficie de un cuerpo es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta:

$$W=KT^4$$

W = Energía emitida por un cuerpo
T= Temperatura absoluta (°K)
K= Constante de Stephan Boltzmann = 4.92x10 Kcal/m^2

Los pirómetros de radiación para uso industrial, fueron introducidos hacia 1902 y desde entonces se han construido de diversas formas, existiendo dos tipos: espejo concavo y lente .

Pirómetro de radiación tipo espejo

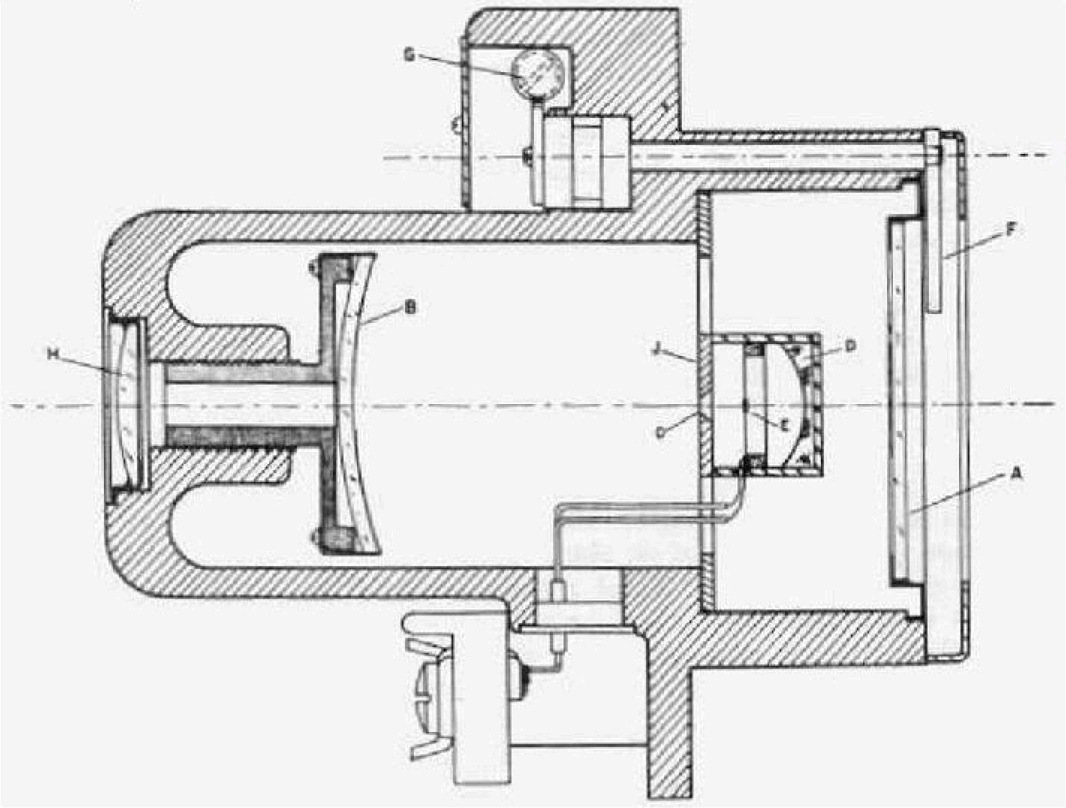
El espejo cóncavo es a veces preferido como medio para enfocar por dos razones:

1) la imagen de la fuente se enfoca igualmente bien en el receptor para todas las longitudes de onda, puesto que el espejo no produce aberración cromática, en tanto que la lente puede dar una imagen neta para una sola longitud de onda.

2) las lentes de vidrio o de sílice vítrea absorben completamente una parte considerable de la radiación de largas longitudes de onda. La radiación reflejada por el espejo difiere poco en longitud de onda media de la que en él incide.

Pirómetro de radiación tipo espejo

El instrumento suele ser de "foco fijo" o ajustable en el foco, y el elemento sensible puede ser un simple termopar o una pila termoeléctrica. La fuerza electromotriz se mide con un milivoltímetro o con un potenciómetro.

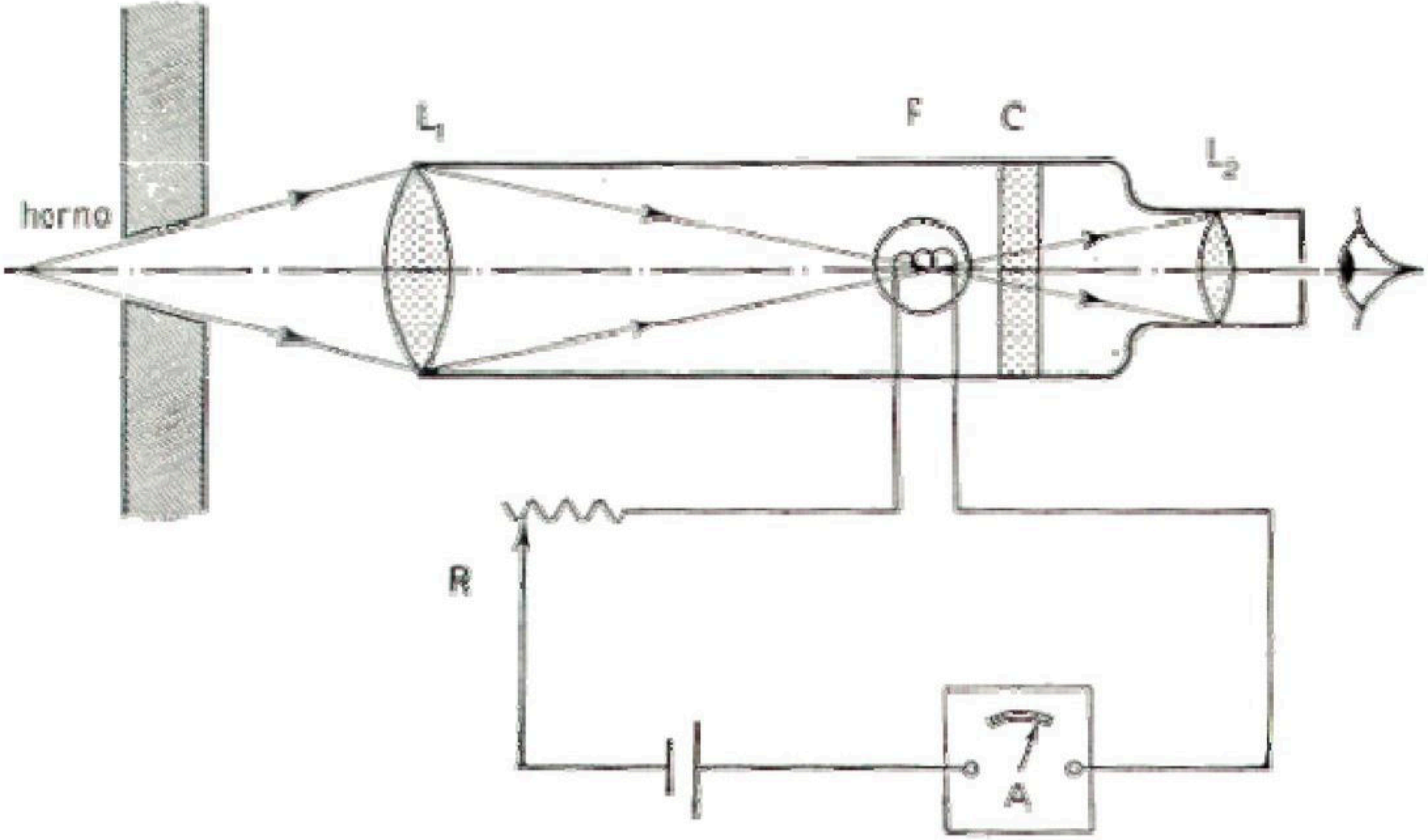


Pirómetro de radiación tipo lente

Este pirómetro está formado por una lente de pyrex, sílice o fluoruro de calcio que concentra la radiación del objeto caliente en una pila termoeléctrica formada por varios RTD´s de Pt - Pt Rd de pequeñas dimensiones y montados en serie. La radiación está enfocada incidiendo directamente en las uniones caliente de los termopares. La f.e.m. que proporciona la pila termoeléctrica depende de la diferencia de temperaturas entre la unión caliente (radiación procedente del objeto enfocado) y la unión frío. Esta última coincide con la de la caja del pirómetro, es decir, con la temperatura ambiente. La compensación de este se lleva a cabo mediante una resistencia de níquel conectada en paralelo con los bornes de conexión del pirómetro.

La compensación descrita se utiliza para temperaturas ambientales máximas de 120 °C. A mayores temperaturas se emplean dispositivos de refrigeración por aire o por agua que disminuyen la temperatura de la caja en unos 10 a 40 °C por debajo de la temperatura ambiente.

Pirómetro de radiación tipo lente


horno
L1
F
C
L2
R
A

Pirómetro de radiación tipo lente

En la medida de bajas temperaturas la compensación se efectúa utilizando además una resistencia termostática adicional que mantiene constante la temperatura de la caja en unos 50 °C, valor que es un poco más alto que la temperatura ambiente que pueda encontrarse y lo suficientemente bajo como para reducir apreciablemente la diferencia de temperatura útil. El pirómetro puede apuntar al objeto bien directamente, bien a través de un tubo de mira abierto (se impide la llegada de radiación de otras fuentes extrañas) o cerrado (medida de temperatura en baños de sales para tratamientos térmicos, hornos)

Los tubos pueden ser metálicos o cerámicos. Los primeros son de acero inoxidable o aleaciones metálicas resistentes al calor y a la corrosión y se emplean temperaturas que no superan generalmente los 1100 °C.

Permiten una respuesta más rápida a los cambios de temperatura que los tubos cerámicos. Los tubos cerámicos se utilizan hasta 1650 °C.

Aplicaciones del pirómetro de radiación

- donde un termopar sería envenenado por la atmósfera de horno.
- para la medida de temperaturas de superficies .
- para medir temperaturas de objetos que se muevan .
- para medir temperaturas superiores a la amplitud de los pares termoeléctricos formados por metales comunes.
- donde las condiciones mecánicas, tales como vibraciones o choques acorten la vida de un par termoeléctrico caliente.

Y, cuando se requiere gran velocidad de respuesta a los cambios de temperatura.

Pirómetro óptico

Se basan en la ley de distribución de la radiación térmica de λWien:

$_{m}\lambda$= A / T, donde A = 0.2897 si $_{m}$ viene en cm.

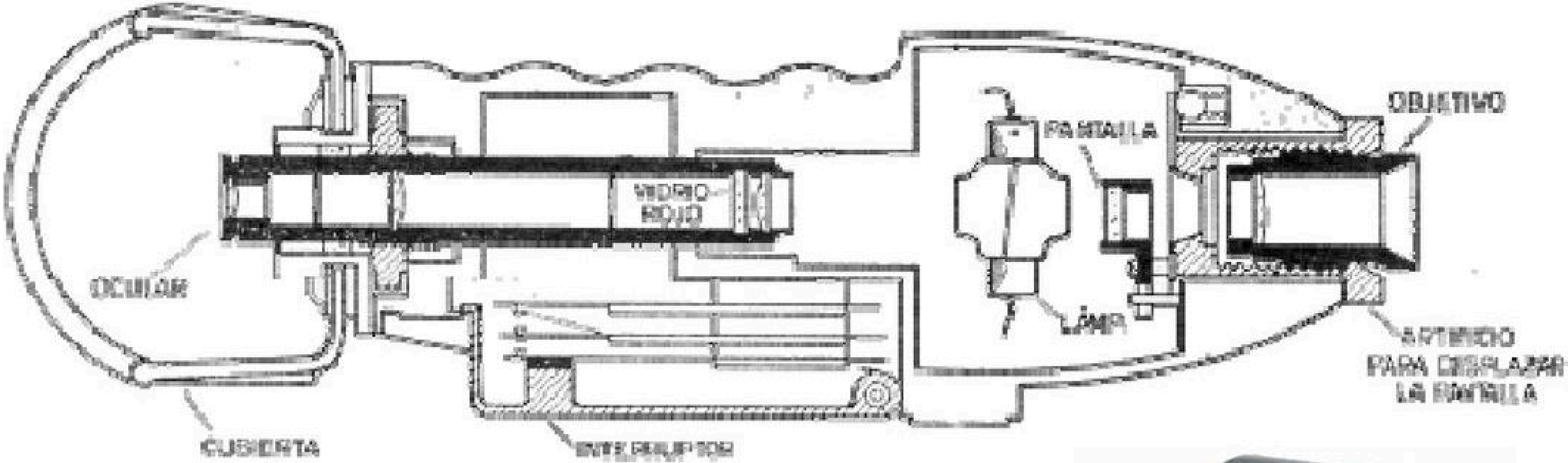
La longitud de onda λ correspondiente al máximo de potencia irradiada en forma de radiaciones comprendidas en un intervalo infinitamente pequeño de longitudes de onda es inversamente proporcional a la temperatura del cuerpo negro.

En la medición de temperaturas con estos pirómetros se utiliza una característica de la radiación térmica: el brillo. El brillo de la radiación en una banda muy estrecha de longitudes de onda emitidas por una fuente, cuya temperatura ha de medirse, es confrontado visualmente con el brillo, en la misma banda, de una fuente calibrada.

Cuando la energía radiante es luminosa, como sucede con las flamas y los metales fundidos se utiliza un pirómetro óptico, cuyo principio se basa en la variación de la resistencia de una fotocelda al variar la intensidad de la luz a la que esta expuesta.

Estructura de un pirómetro óptico

El pirómetro óptico empleado en la determinación de altas temperaturas tales como las temperaturas de fusión del platino, del molibdeno o del tungsteno, es del tipo de filamento.


OBJETIVO
PANTALLA
VIDRIO ROJO
OCULAR
LÁMP.
ARTIFICIO PARA DESPLAZAR LA PANTALLA
CUBIERTA
INTERRUPTOR

Problemas comunes en la medición de temperatura

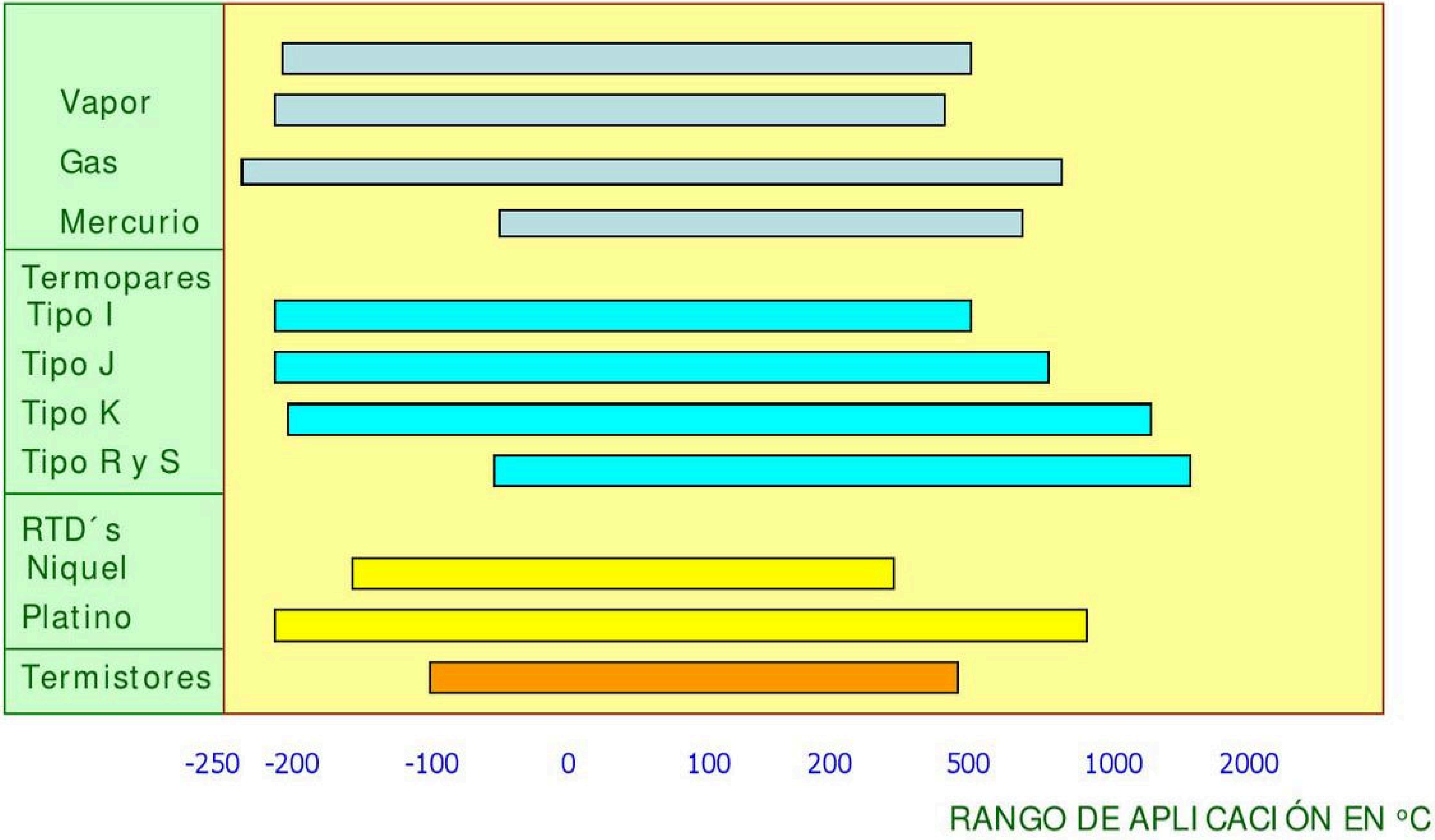
- Localización del elemento
- Velocidad del fluido
- Deterioro del material
- Elemento cubierto o termopozo
- Conexiones del cable
- Falla del elemento
- ¿Otros?

Criterios de selección de medidores de temperatura

Las prioridades de selección son:

- Rango
- Exactitud
- Estabilidad
- Instalación
- Costo

Rango de medidores de temperatura



Características de los medidores de temperatura

CARACTERÍSTICA	SISTEMA TERMAL	TERMOPARES	BULBOS DE RESISTENCIA	TERMISTORES
Rango mínimo °C recomendable	-180	-250	-250	-100
Rango máximo °C recomendable	500	2500	1000	450
Exactitud	±0.5% a ±2% escala total	±0.25% a ±2%	0.05 °C	0.05 °C
Sensitividad	Variable	10-50 mV/°C	De 0.0004 a 0.0007 Ω/Ω°C	Aprox 5%/°C
Tiempo de respuesta	4-7 s, sin termopozo	Depende del calibre e instalación	Aprox. 6 s	3-6 s
Salida	Lineal, excepto clase II	No lineal	Lineal, excepto con níquel	Lineal en rangos cortos
Estabilidad	Excelente	Buena	Excelente	Buena
Repetibilidad	Mala	Buena	Excelente	Buena
Elemento secundario	Opcional	No necesario	Inherente	Buena
Suministro de energía	Al transmisor	No requerida	sensor/transmisor	sensor/transmisor

INSTRUMENTACIÓN BÁSICA DE PROCESOS INDUSTRIALES

CAPÍTULO 4

MEDICIÓN DE PRESIÓN

DOCENTE
MARCELO SEPULVEDA ITURRIETA

Elementos primarios de medición de Presión

La presión es la variable más comúnmente medida, junto con la temperatura, en plantas de proceso y esto es debido a . a que puede reflejar la fuerza motriz para la reacción o transferencia de fase de gases; la fuerza motriz para el transporte de gases o líquidos; la cantidad másica de un gas en un volumen determinado; etc.

El control de la presión en los procesos industriales da condiciones de operación seguras. Las presiones excesivas no solo pueden provocar la destrucción del equipo, sino también provoca la destrucción del equipo adyacente y pone al personal en situaciones peligrosas, particularmente cuando están implícitas, fluidos inflamables o corrosivos.

Elementos primarios de medición de Presión

La presión puede definirse como una fuerza por unidad de área o superficie, en donde para la mayoría de los casos se mide directamente por su equilibrio directamente con otra fuerza, conocida que puede ser la de una columna líquida, un resorte, un émbolo cargado con un peso o un diafragma cargado con un resorte o cualquier otro elemento que puede sufrir una deformación cualitativa cuando se le aplica la presión.

$$\text{Presión} = \frac{\text{Fuerza}}{\text{Area}} = \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} = \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2}$$

Sistemas de unidades - Instrumentación

	U.S	METRICO	SI
PRESIÓN	psi Pulgadas de agua	Kg/cm^2 mm de agua	Pascal
	Pulgadas de mercurio	mm de mercurio bar	(KPa)

Elementos primarios de medición de Presión

La unidad internacional de presión es el Pascal (Pa), el cual caracteriza una presión uniforme que actúa sobre un área de un metro cuadrado y crea sobre esta área una fuerza perpendicular de 1 Newton

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ Newton/m}^2$$

	Pa	bar	psi	Kg/ cm^2	mm Hg	m H2O
1Pa =	1	1 x10^{-5}	1.04503 x10^{-4}	1.01971 x10^{-5}	7.500627x10^{-3}	1.019716 x 10^{-4}

Tipos de Presiones

Presión absoluta: Presión que se mide a partir de la presión cero de un vacío absoluto.

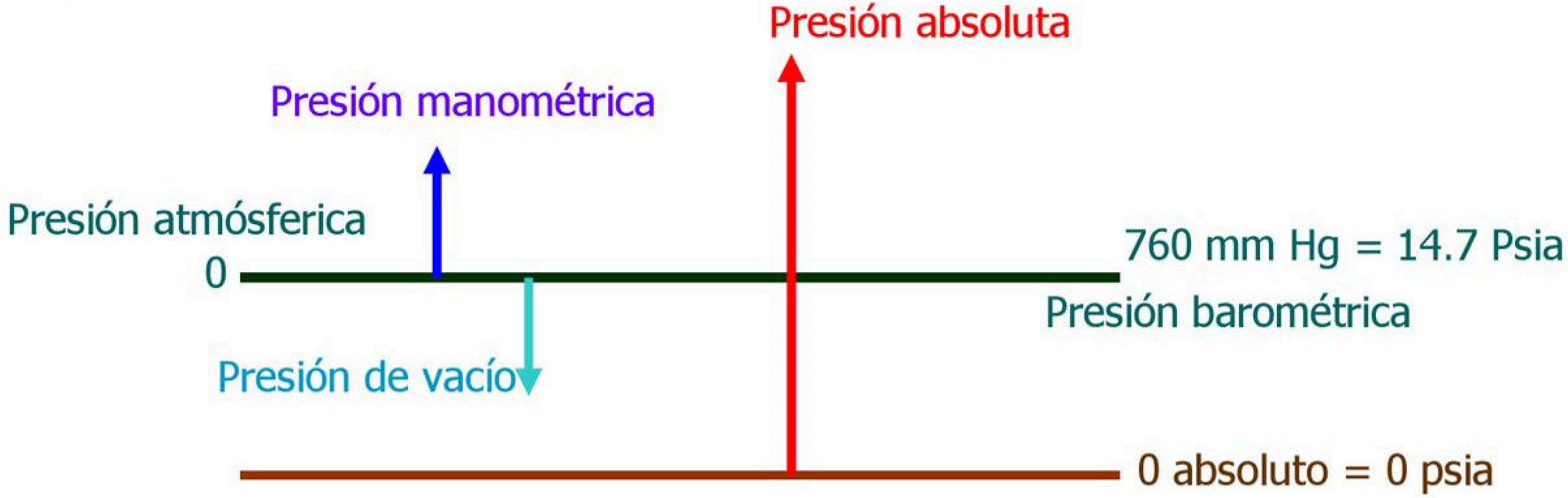
Presión atmosférica: Presión que ejerce la atmósfera que rodea la tierra (barométrica) sobre todos los objetos que se hallan en contacto con ella.

Presión relativa (manométrica): Presión mayor a la presión atmosférica, es la presión medida con referencia a la presión atmosférica, conocida también como presión relativa o presión positiva.

Presión diferencial: Es la diferencia entre dos presiones.

Tipos de Presiones

Vacío: Presión menor a la presión atmosférica, medida por abajo de la presión atmosférica. Cuando el vacío se mide con respecto a la presión atmosférica se le conoce como presión negativa, el vacío también puede medirse con respecto al "cero absoluto" como una presión absoluta menor a la presión atmosférica.


Presión absoluta
Presión manométrica
Presión atmósferica
0
760 mm Hg = 14.7 Psia
Presión barométrica
Presión de vacío
0 absoluto = 0 psia

Manómetros

Es el nombre genérico de los instrumentos que miden presión. Generalmente se usa para designar a los instrumentos que miden presión arriba de la presión atmosférica.

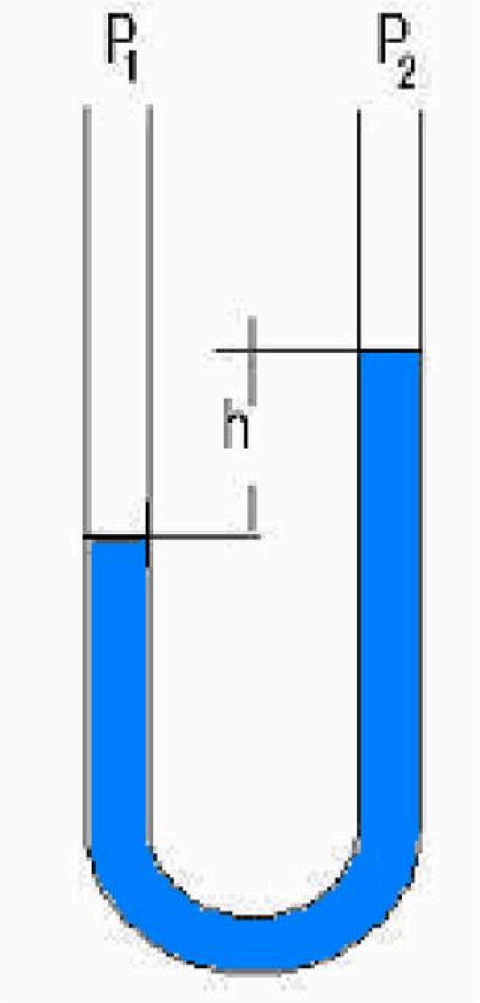
La forma más tradicional de medir presión en forma precisa utiliza un tubo de vidrio en forma de "U", donde se deposita una cantidad de líquido de densidad conocida (para presiones altas, se utiliza habitualmente mercurio para que el tubo tenga dimensiones razonables; sin embargo, para presiones pequeñas el manómetro en U de mercurio sería poco sensible).

Este tipo de manómetros tiene una ganancia que expresa la diferencia de presión entre los dos extremos del tubo mediante una medición de diferencia de altura (es decir, una longitud).

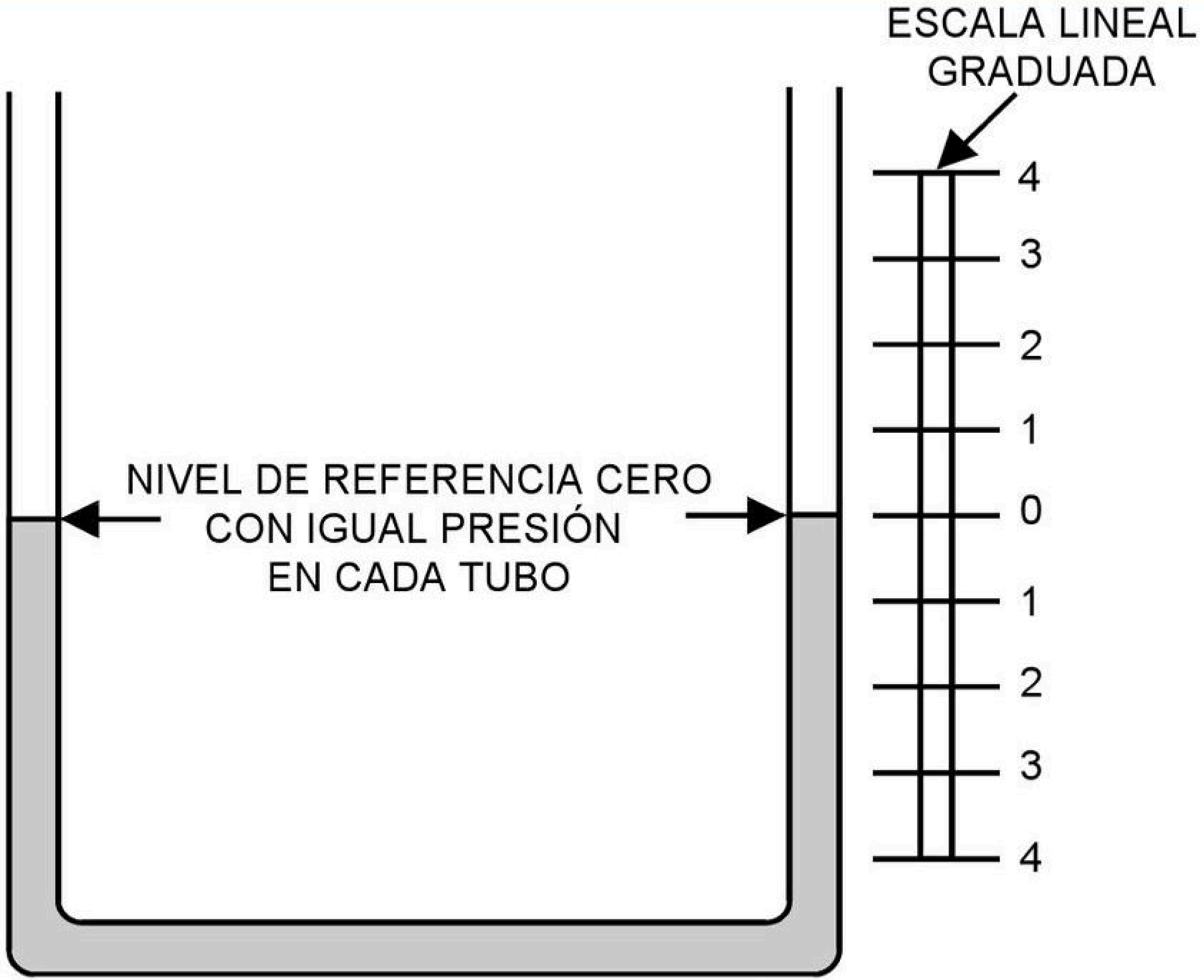
Manómetro de U

El manómetro de "U" conforma un sistema de medición absoluto y no depende de calibración por lo que se considera un patrón de medición de presión.

Su desventaja principal es la longitud de tubos necesarios para una medición de presiones altas y no se utiliza en un sistema de transmisión remota.



Manómetro de U


ESCALA LINEAL GRADUADA
4
3
2
1
0
1
2
3
4
NIVEL DE REFERENCIA CERO CON IGUAL PRESIÓN EN CADA TUBO

(A) MANOMETRO CON IGUAL PRESIÓN EN CADA TUBO

Manómetro mecánicos

El manómetro es el instrumento local utilizado para medir presión y su elemento sensor generalmente es un Bourdon.

Los manómetros contienen órganos medidores que se deforman bajo la influencia de una presión elástica. Este movimiento se transmite a un mecanismo indicador.

Debido a su resistencia y fácil manejo, los manómetros están ampliamente difundidos en el campo de la medición de presión. Los órganos medidores están construidos normalmente con aleaciones de cobre o aceros aleados.

Manómetros

ASHCROFT
psi
ASHCROFT

ASHCROFT
On Off
Zero Clear
1.00
PSI
Max
Light
Units
100 PSI

Manómetros de diafragma

Los diafragmas son láminas elásticas onduladas de forma circular. Por una cara soportan la presión a medir. La curvatura de la membrana es una medida de la presión.

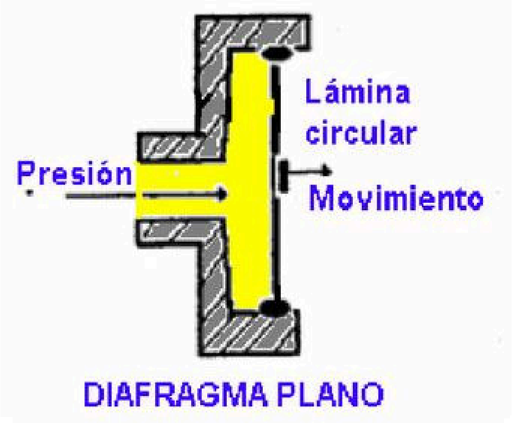


Lámina
circular
Presión
Movimiento

DIAFRAGMA PLANO

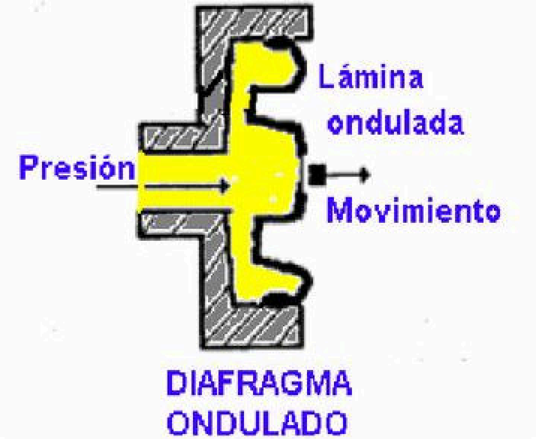


Lámina
ondulada
Presión
Movimiento

DIAFRAGMA ONDULADO

Las láminas elásticas tienen una fuerza de retorno relativamente grande por lo que la influencia de los equipos adicionales es por este motivo inferior que en los aparatos con tubo de Bourdon. Para la corrosión se pueden proteger de las substancias corrosivas mediante la cobertura o anteposición de láminas de plástico.

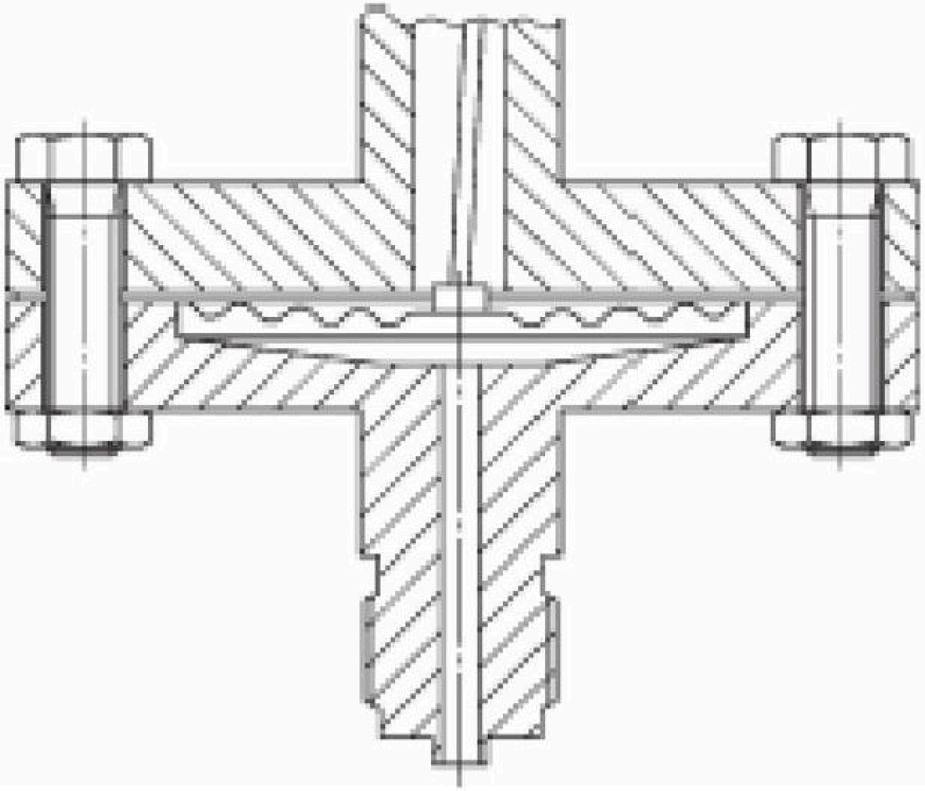
Manómetros de diafragma

La diferencia de la indicación al cambiar la temperatura es considerablemente superior que en los aparatos con tubo Bourdon.

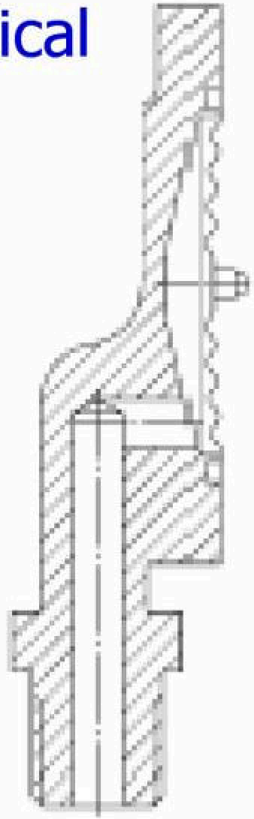
Los manómetros de láminas elásticas se usan para tensiones de medición de 10 mbar a 25 bar

Manómetros de diafragma

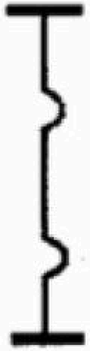
Tipo diafragma Horizontal



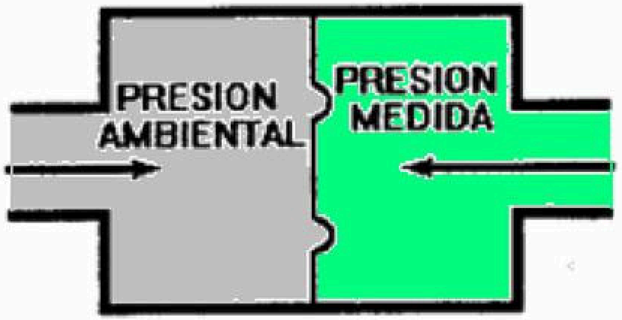
Vertical



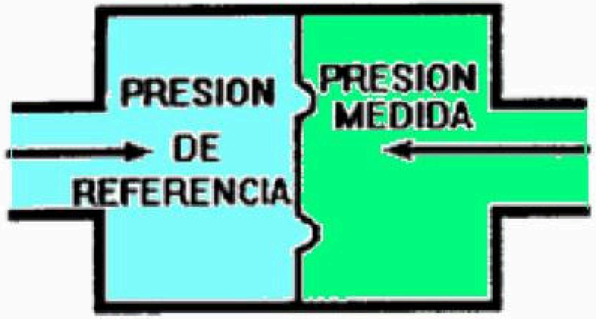
Medición de diferentes tipos de presión



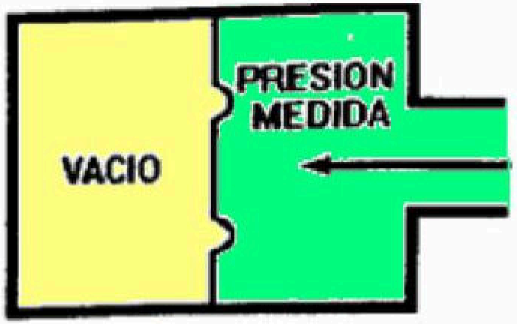
SENSOR


PRESION AMBIENTAL
PRESION MEDIDA

PRESION MANOMETRICA


PRESION DE REFERENCIA
PRESION MEDIDA

PRESIÓN DIFERENCIAL


VACIO
PRESION MEDIDA

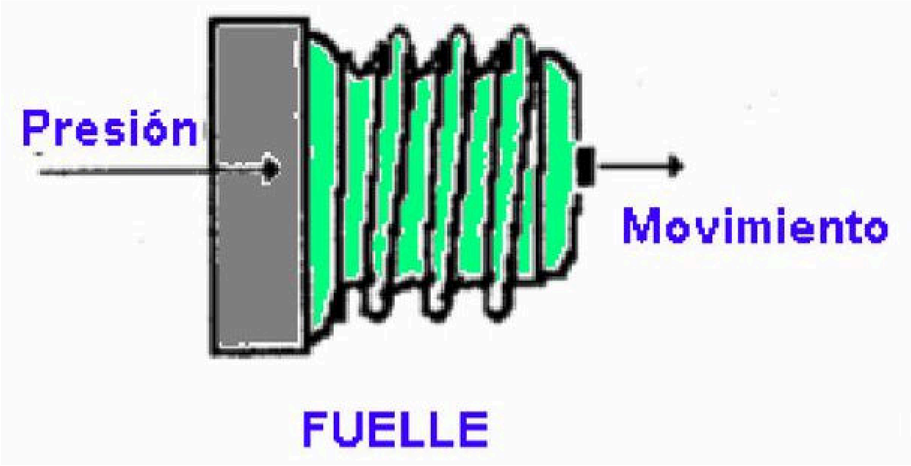
PRESIÓN ABSOLUTA

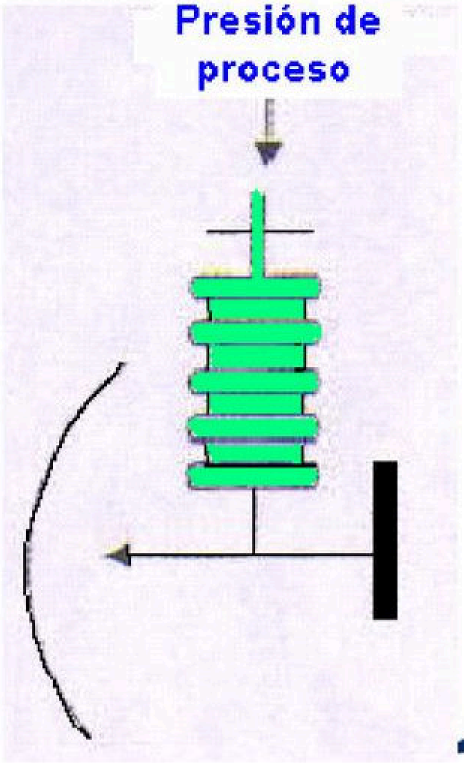
Ventajas de los manómetros de diafragma

VENTAJAS	LIMITACIONES
Pueden ser directamente acoplados al proceso	No aplicables a altas presiones
Principio de operación simple	Difícil su reparación
Numerosos materiales de construcción son disponibles para la resistencia a la corrosión y temperatura	Deben ser protegidos de golpes y vibraciones
Pueden soportar altas presiones	Requieren transductores adicionales para salida eléctrica
Costo moderado	
De tamaño relativamente pequeño	
Buena linealidad	

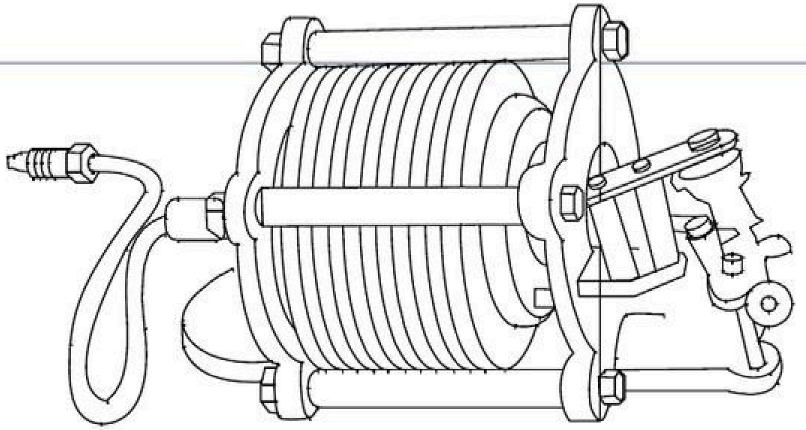
Manómetros tipo Fuelle

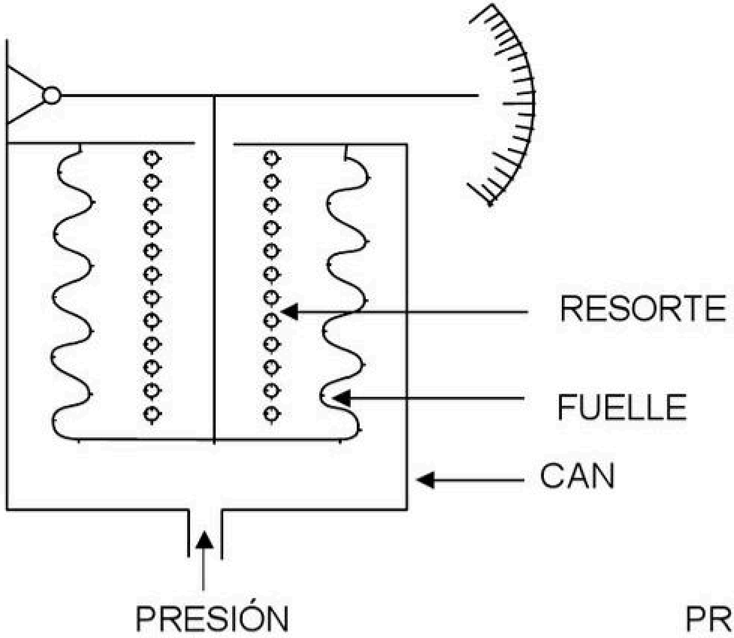
Los fuelles son elementos expandibles y contraíbles, que tienen la forma de un acordeón. Con el fin de tener mayor duración y mejorar su exactitud, el movimiento del fuelle es restringido por medio de un resorte calibrado.


Presión
Movimiento
FUELLE

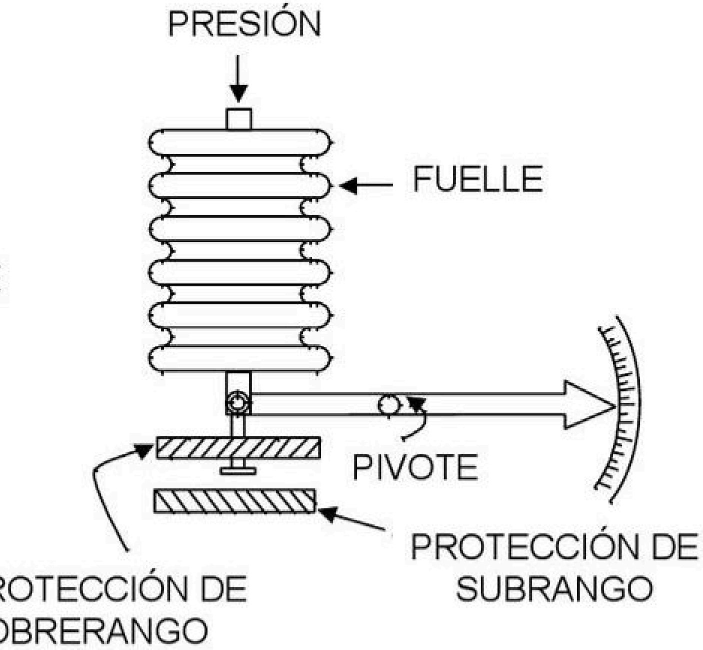

Presión de proceso

Manómetros tipo Fuelle




RESORTE
FUELLE
CAN
PRESIÓN

FUELLES EN UN RECIPIENTE


PRESIÓN
FUELLE
PIVOTE
PROTECCIÓN DE SUBRANGO
PROTECCIÓN DE SOBRERANGO

FUELLES CON TOPES

Ventajas de los manómetros tipo Fuelle

VENTAJAS	LIMITACIONES
Desarrollan grandes fuerzas	No aplicables a altas presiones
Costo moderado	Requieren resortes para tener caracterización de exactitud
Disponibles para medición absoluta y diferencial	Generalmente deben ser compensados por cambios en la temperatura ambiente
Buenos para bajas presiones a moderadas	Algunos metales usados en los fuelles deben ser sometidos a endurecimiento
	Difícil calibración, algunas veces solo se logra con la ayuda de resortes

Manómetros con tubo de Bourdon

Para cualquier tipo de carga, la relación entre la carga y la deformación ε es una constante del material, conocida como el módulo de Young:

$$E = Carga/\varepsilon$$

Si la constante de deformación es conocida, se puede obtener la carga según:

$$Carga = E * \varepsilon$$

De modo que frente a deformaciones pequeñas de materiales elásticos, será posible obtener una cuantificación reproducible de las cargas (fuerzas) solicitantes.

El manómetro de Bourdon depende, precisamente, de la elasticidad de los materiales utilizados en su construcción.

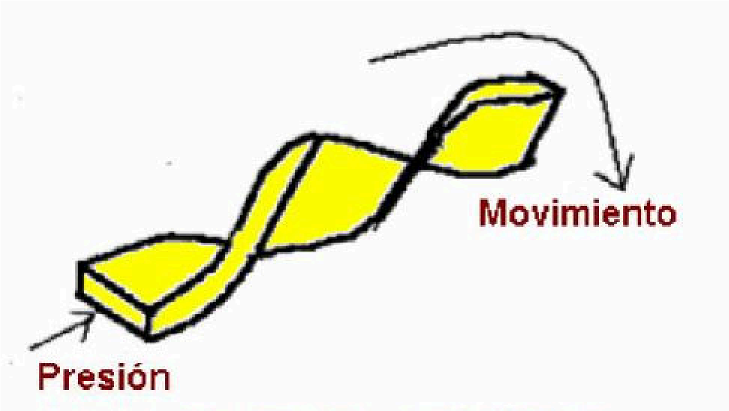
Manómetros con tubo de Bourdon

Este manómetro, tal vez el más común en plantas de procesos que requieran medición de presiones, consiste de un tubo metálico achatado y curvado en forma de "C", abierto sólo en un extremo.

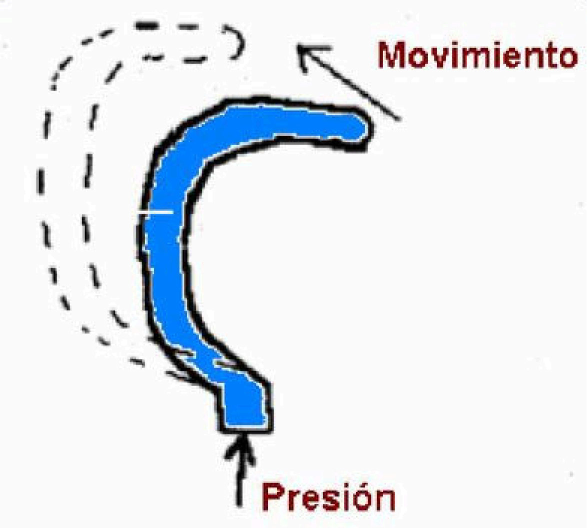
La presión a medir actúa sobre la cara interior del tubo, con lo que la sección oval se aproxima a la forma circular. Mediante el acodamiento del tubo de Bourdon se producen tensiones en el borde que flexionan el tubo.

Los manómetros de tubo de Bourdon se utilizan para presiones de medición de 0,6 bar a 4000 bar, principalmente en las clases 0,6 a 2,5. La influencia de la modificación de la temperatura sobre la indicación está determinada fundamentalmente por la evolución de la temperatura del módulo de elasticidad del tubo de Bourdon. El error causado por la temperatura, según el material, está entre 0,3% y 0,4%.

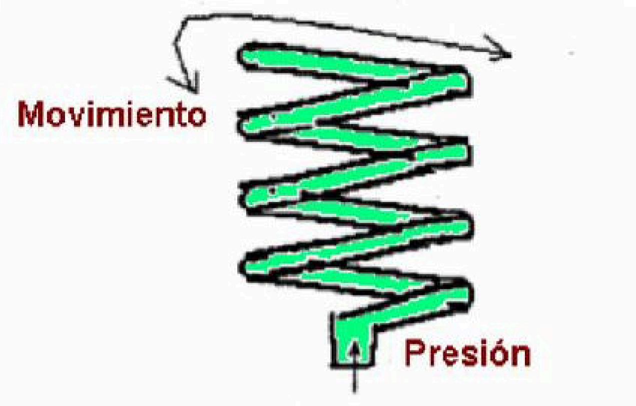
Tipo de tubo Bourdon


Movimiento
Presión

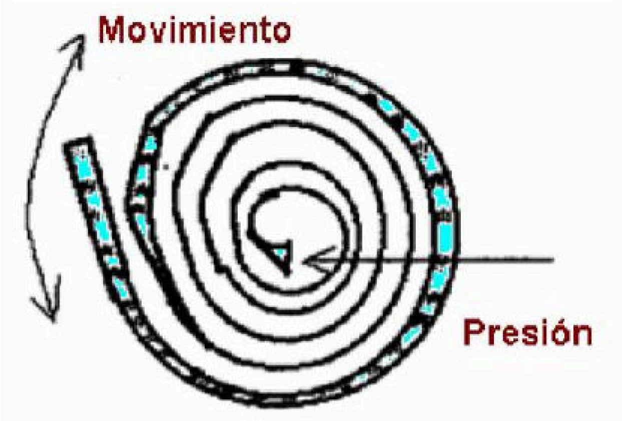
BOURDON TRENZADO


Movimiento
Presión

BOURDON EN C


Movimiento
Presión

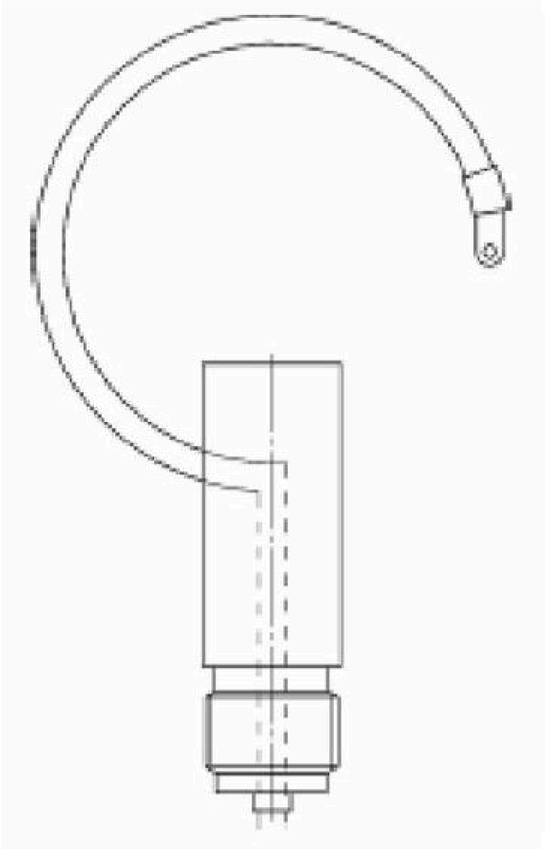
BOURDON HELICOIDAL


Movimiento
Presión

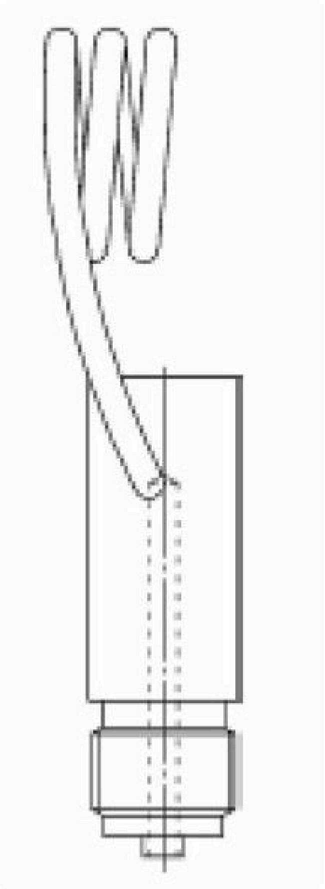
BOURDON ESPIRAL

Tipo de tubo Bourdon

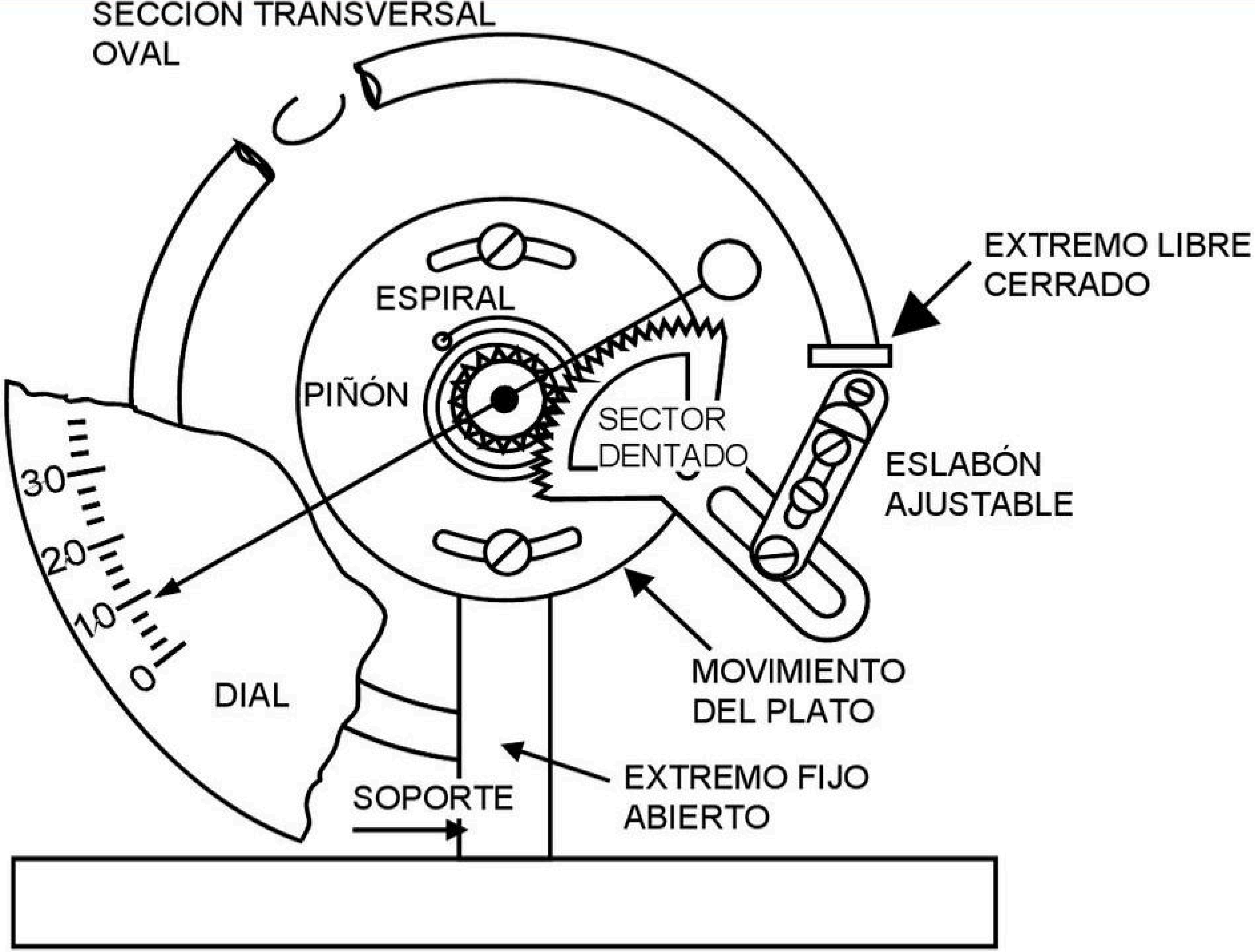
En Forma de C



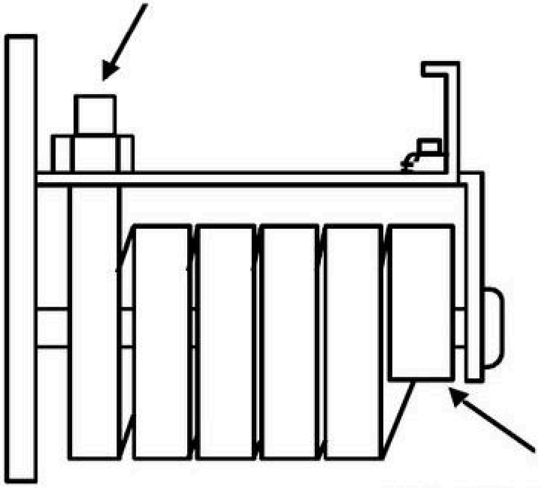
En Forma helicoidal

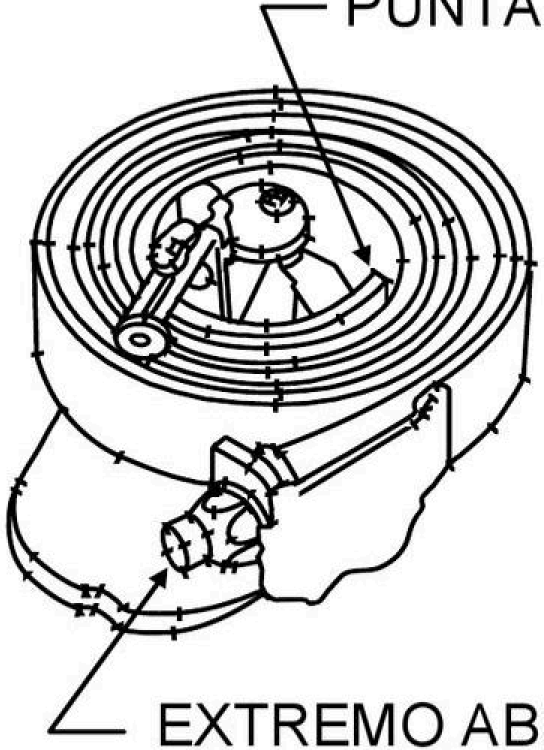


Tipo de tubo Bourdon


SECCIÓN TRANSVERSAL
OVAL
EXTREMO LIBRE
CERRADO
ESPIRAL
PIÑÓN
SECTOR
DENTADO
ESLABÓN
AJUSTABLE
30
20
10
0
DIAL
MOVIMIENTO
DEL PLATO
EXTREMO FIJO
ABIERTO
SOPORTE

Elementos en espiral y helicoidal

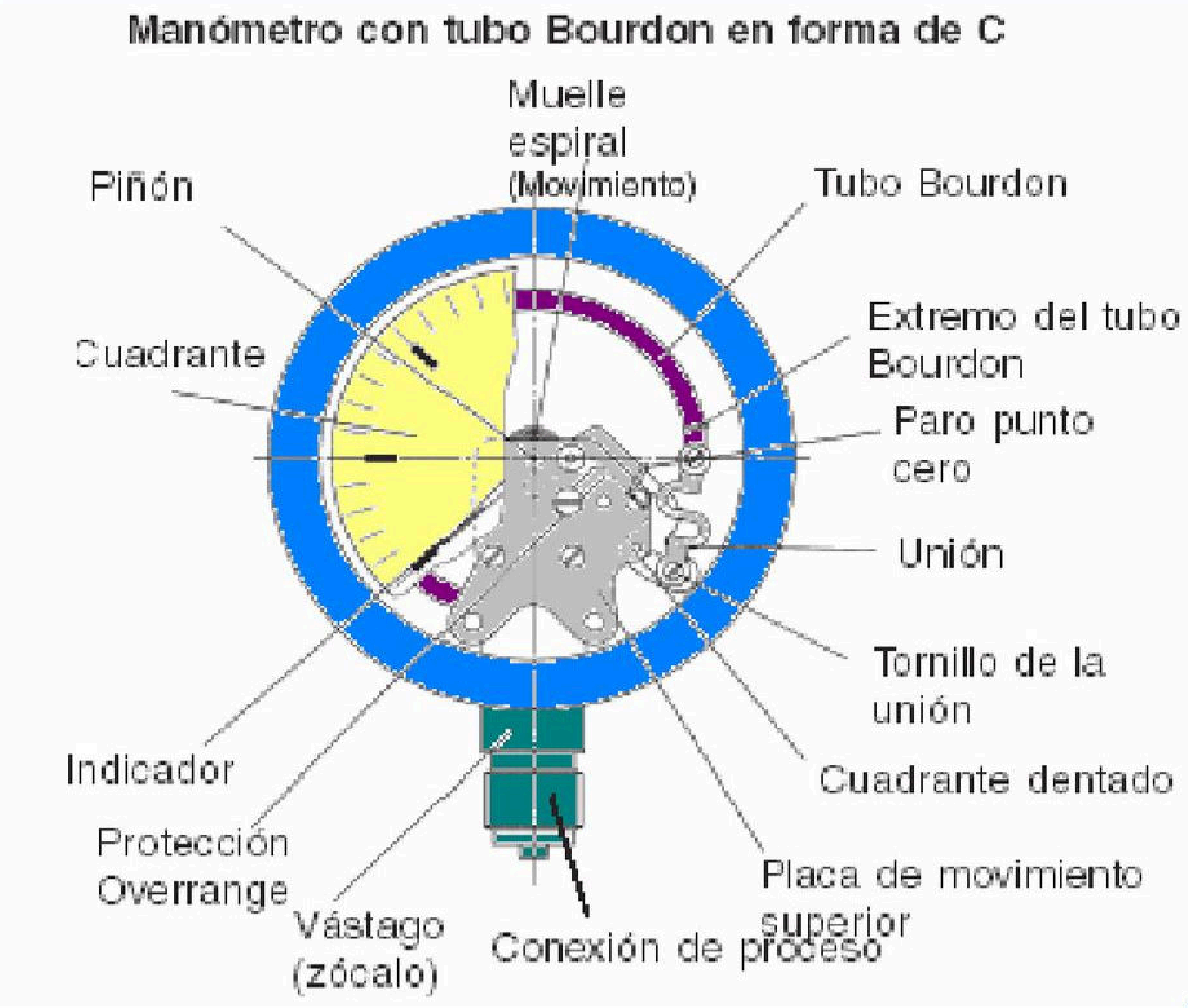

EXTREMO ABIERTO
PUNTA MOVIBLE


PUNTA MOVIBLE
EXTREMO ABIERTO

Ventajas del tubo Bourdon

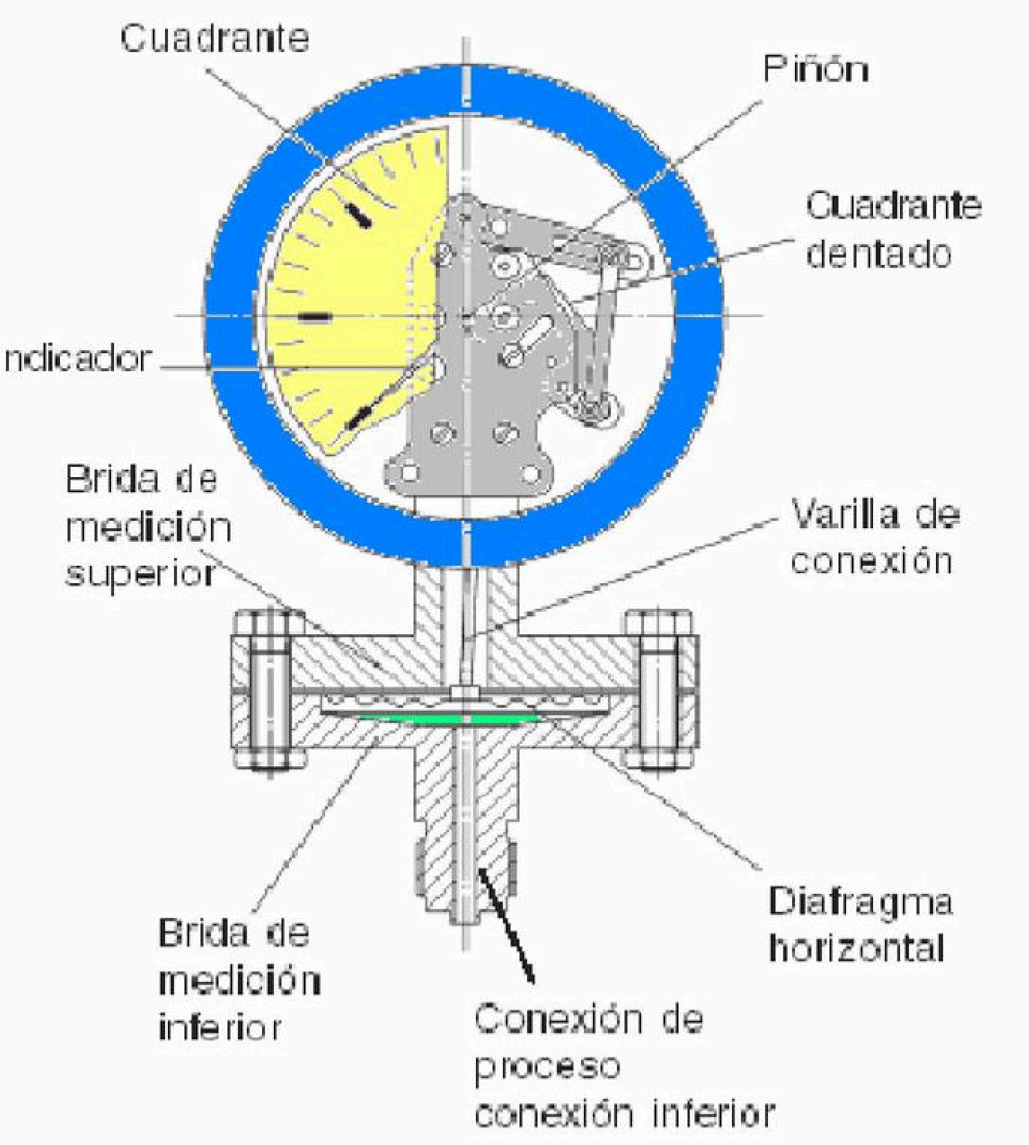
VENTAJAS	LIMITACIONES
Costo bajo	Muy bajo gradiente elástico debajo de 3 Kg/cm
Construcción simple	Usualmente requieren movimiento engranado para amplificación (Bourdon C)
Muy utilizado a través de los años	Largos periodos de trabajo en su máxima capacidad los hace sensibles a golpes y vibraciones
Muy altos rangos de presión	Histéresis de 0.25% a 0.50 % sobre el ciclo total de operación
Diseños mejorados para máxima seguridad en altas presiones	
Fácilmente adaptable a transductores para obtener salida eléctrica	
Buena exactitud contra costo, excepto en rangos bajos	

Construcción de manómetros

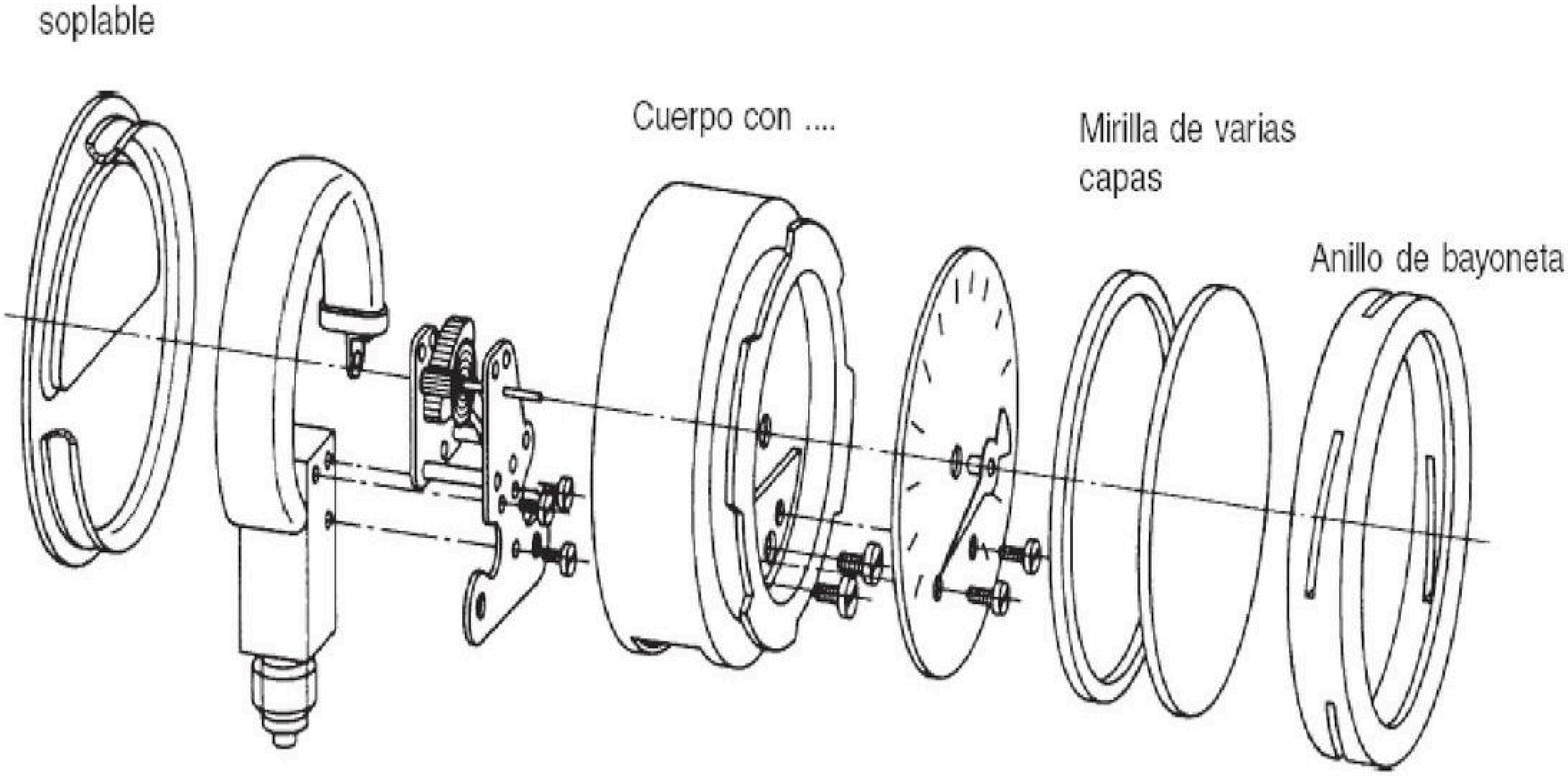

Manómetro con tubo Bourdon en forma de C
Muelle espiral (Movimiento)
Piñón
Tubo Bourdon
Cuadrante
Extremo del tubo Bourdon
Paro punto cero
Unión
Tornillo de la unión
Cuadrante dentado
Indicador
Protección Overrange
Vástago (zócalo)
Conexión de proceso
Placa de movimiento superior

Construcción de manómetros

Manómetro con diafragma horizontal


Cuadrante
Piñón
Cuadrante dentado
ndicador
Brida de medición superior
Varilla de conexión
Diafragma horizontal
Brida de medición inferior
Conexión de proceso conexión inferior

Elementos de un Manómetro


soplable
Cuerpo con ....
Mirilla de varias capas
Anillo de bayoneta

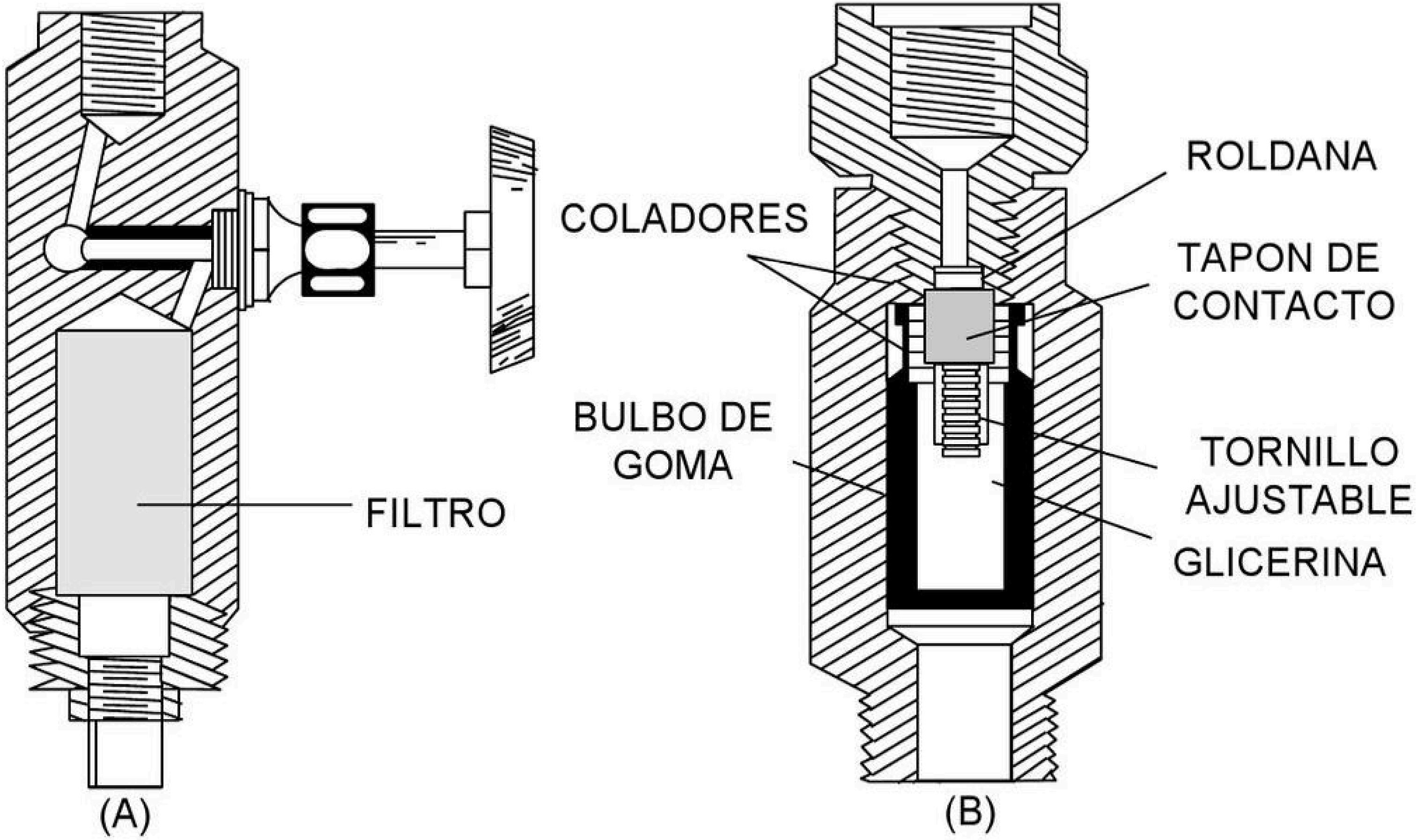
Rangos de indicación

- La presión de operación deberá estar ubicada en el tercio central del rango de indicación del manómetro.
- La carga de presión máxima no debería superar el 75% del valor final de escala con carga en reposo o el 65% del valor final de escala con carga dinámica, véase EN 837-2.

Amortiguador de pulsaciones

Si no pueden evitarse las vibraciones en el manómetro mediante la instalación apropiada, deben utilizarse aparatos con amortiguamiento del mecanismo indicador o llenado de líquido, ya que si no dañarían los manómetros, transmisores y otros dispositivos. La presión pulsante podría gastar rápidamente los movimientos del manómetro mecánico. Esto es especialmente verdadero cuando se utilizan bombas de desplazamiento positivo. Las oscilaciones pueden reducirse o suprimirse colocando un amortiguador en la línea.

Amortiguador de pulsaciones


FILTRO
(A)
COLADORES
BULBO DE GOMA
ROLDANA
TAPON DE CONTACTO
TORNILLO AJUSTABLE
GLICERINA
(B)

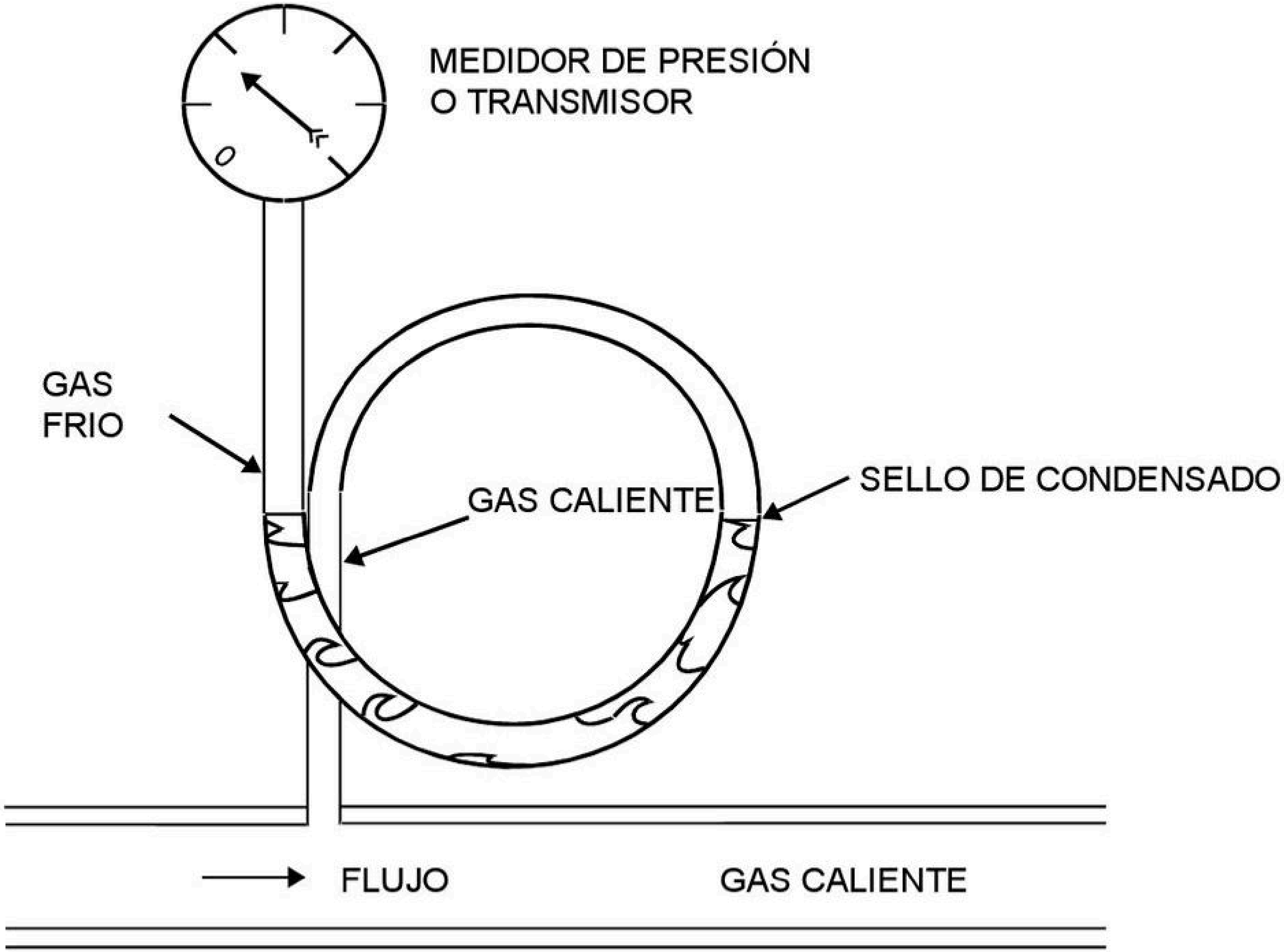
Courtesy University of Texas Petroleum
Extension Service

El tubo sifón o cola de cochino

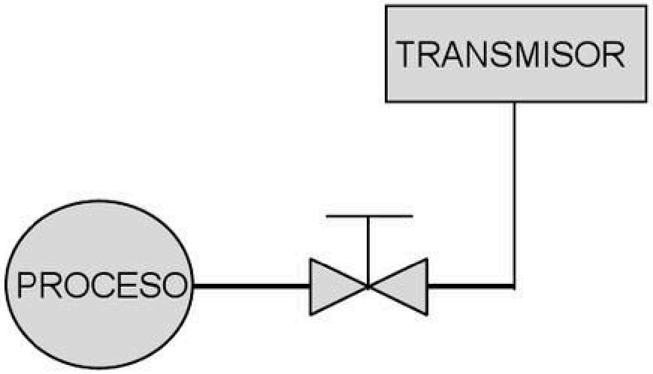
La cola de cochino es utilizada para aislar el proceso caliente del instrumento. Cuando los gases llenan el tubo estos se condensan y llenan la parte baja de la cola de cochino. Esto funciona como un tapón que impide que los gases alcancen al instrumento y también irradia algo de calor al aire circundante. La cola de cochino no debe estar aislada.

El espacio de vapor entre el manómetro/transmisor y el sello de condensado es compresible, por lo que los cambios de presión no serán vistos tan rápidamente como con otros dispositivos. El sello de agua actúa como un amortiguador.

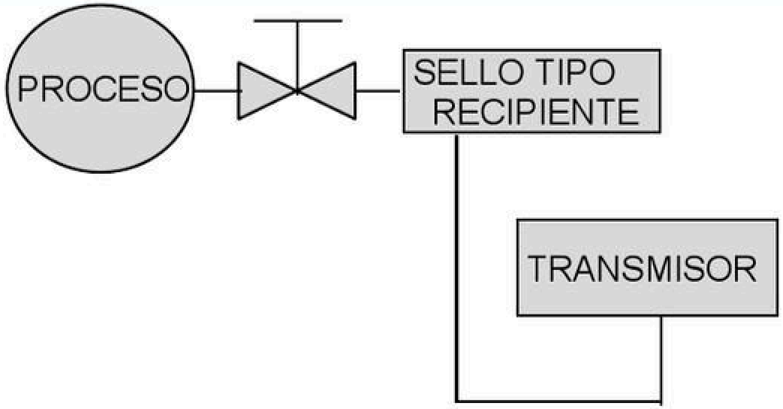
El tubo sifón o cola de cochino


MEDIDOR DE PRESIÓN
O TRANSMISOR
GAS
FRIO
GAS CALIENTE
SELLO DE CONDENSADO
FLUJO
GAS CALIENTE

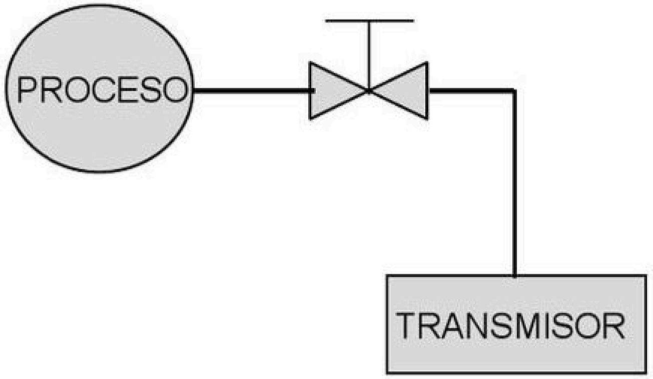
Instalación


TRANSMISOR
PROCESO

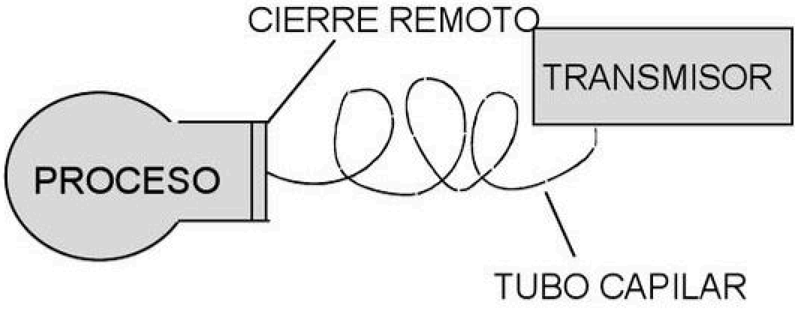
Instrumento arriba del proceso – El condensado retrocede


PROCESO
SELLO TIPO RECIPIENTE
TRANSMISOR

Instrumento aislado del proceso


PROCESO
TRANSMISOR

Instrumento debajo del proceso – Parte inferior de la pierna de llenado


CIERRE REMOTO
TRANSMISOR
PROCESO
TUBO CAPILAR

Instrumento aislado del proceso

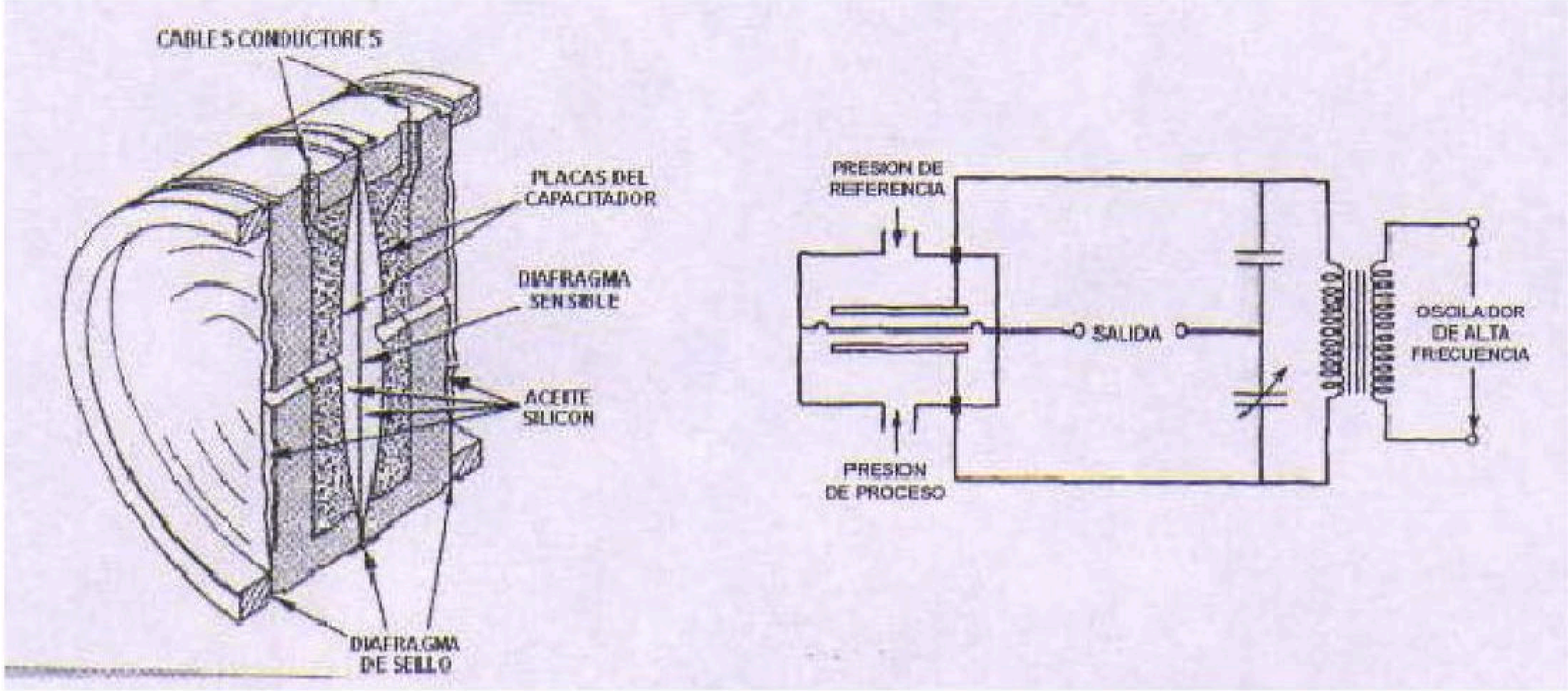
Medidores electrónicos de presión

Existen básicamente dos tipos:

- Tipo Capacitivo
- Tipo medidor de deformaciones o strain gage

Medidor tipo Capacitivo

El principio básico es la medición del cambio de capacitancia por el movimiento de un elemento elástico. Este elemento casi siempre es un diafragma cuyo movimiento es del orden de milésimas con una presión de referencia.


CABLES CONDUCTORES
PLACAS DEL CAPACITADOR
DIAFRAGMA SENSIBLE
ACEITE SILICON
DIAFRAGMA DE SELLO
PRESION DE REFERENCIA
SALIDA
OSCILADOR DE ALTA FRECUENCIA
PRESION DE PROCESO

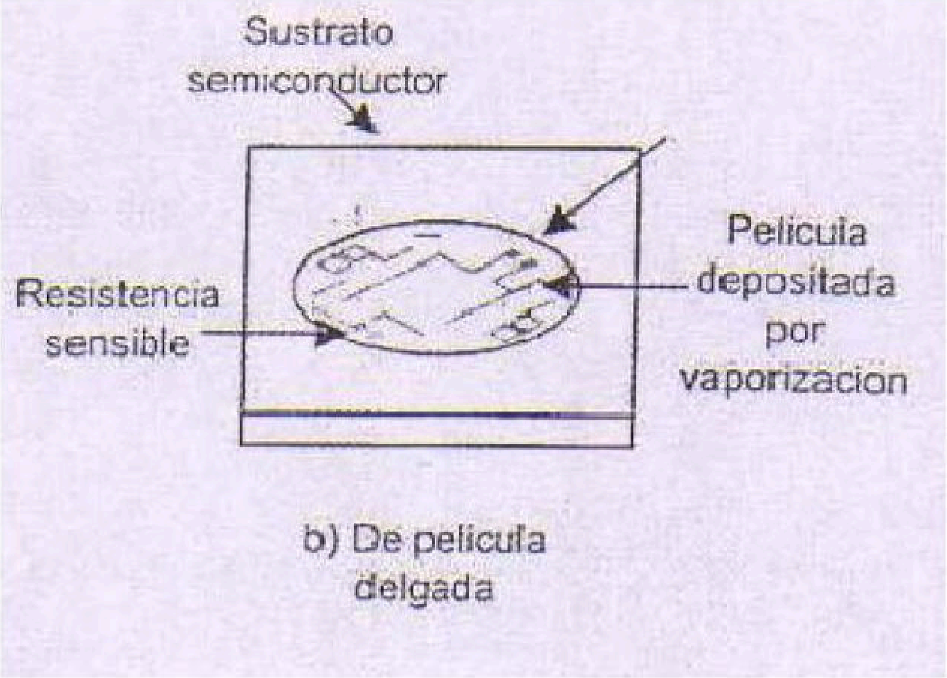
Medidor tipo Capacitivo

La señal de presión, referencia y medida, es aplicada por medio de dos diafragmas, que son los que están en contacto directo con el proceso. Las características de este instrumento son:

VENTAJAS	LIMITACIONES
Buena Exactitud	EN ocasiones es necesario compensarlo debido a a variaciones de temperatura
Buena velocidad de respuesta	Salida de alta impedancia
Excelentes características de histéresis y respuesta en frecuencia	La unidad electrónica necesita estar bien diseñada e instalada
Construcción simple	
Costo moderado	
Desplazamiento volumétrico pequeño	
Resolución uniforme	

Medidor de deformaciones tipo Strain Gage

De acuerdo a la Ley de Hooke, cuando un cuerpo se le aplica una fuerza, este sufre una deformación. Un medidor de deformaciones, strain gage o galga de extensión es un dispositivo que utiliza la variación de su resistencia eléctrica para medir su presión y se construye sobre un metal de coeficiente de elasticidad dado, adosándole un alambre, una tira semiconductora o pistas conductoras.


Sustrato semiconductor
Película depositada por vaporización
Resistencia sensible

b) De película delgada

Medidor de deformaciones tipo Strain Gage

Al deformarse el soporte de la galga o strain gage, se "estira" o se "comprime" el sensor, variando así, su resistencia. El cambio de resistencia será, precisamente, el reflejo de la deformación sufrida. En términos de su caracterización, dada la resistencia R sin deformación, la aplicación de una fuerza F deformante producirá un cambio de resistencia.

Tipos físicos de medidores de esfuerzo

Medidor de esfuerzo de hilo metálico. Son las más sencillas y se encuentran en configuraciones fijables. Normalmente están adheridas a una base de dimensiones estables.

Medidor de esfuerzo laminares metálicas. Son las que se desarrollan por métodos de fotograbado. Se fabrican de forma similar a la producción de circuitos impresos en bases flexibles.

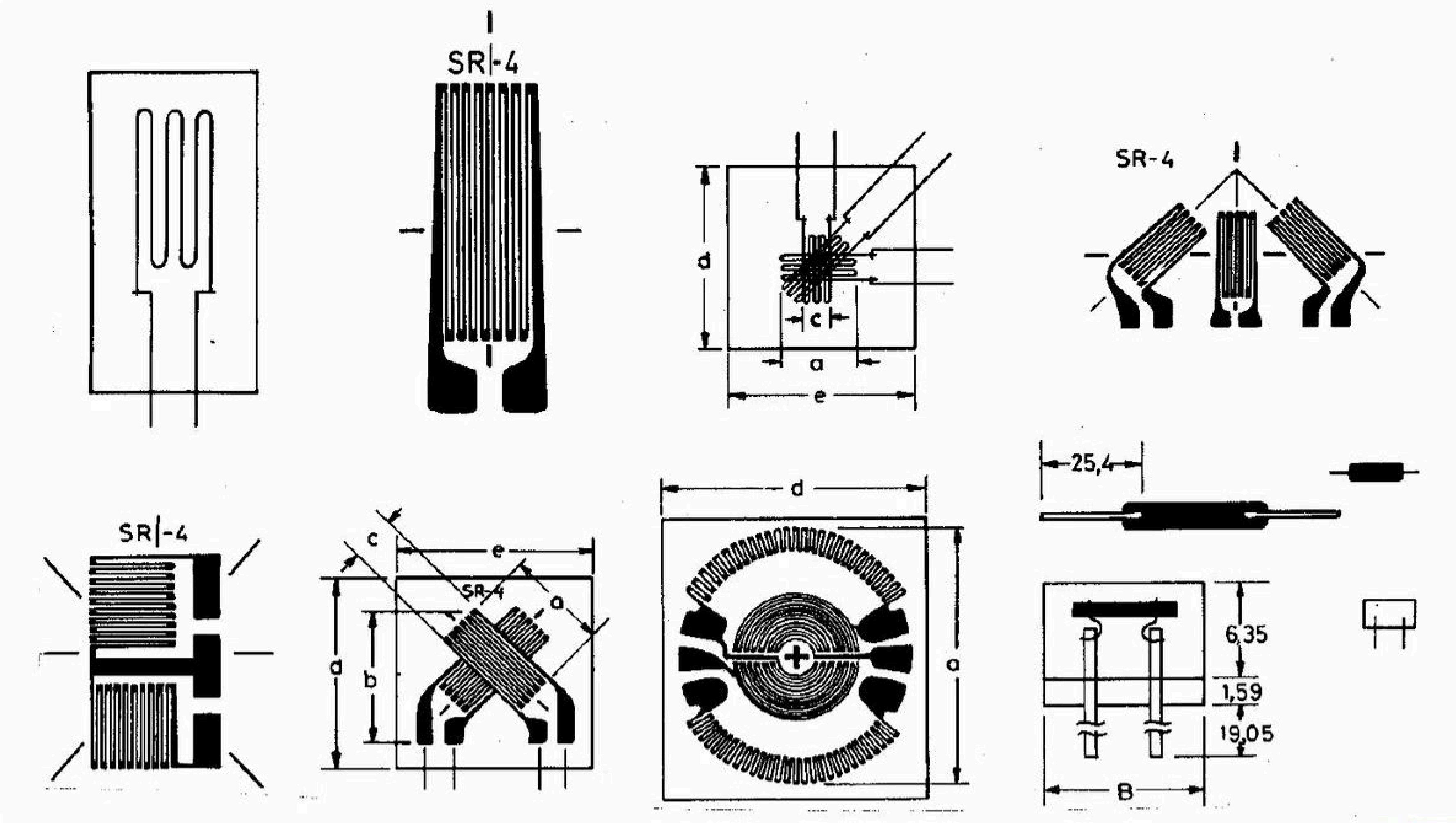
Medidor de esfuerzo de metal depositado. Son las aplicadas directamente sobre superficies mediante métodos de evaporización o bombardeo químico. Se usan en los diafragmas de los sensores de presión.

Tipos físicos de medidores de esfuerzo

Medidor de esfuerzo Semiconductoras. Son fabricadas con silicio u otro metal semiconductor. Su cambio resistivo es menos lineal que las de metal y tiene gran dependencia en la temperatura. Se usan en la fabricación de sensores integrados de presión donde se implantan en microdiafragmas para sensar presión diferencial o presión barométrica.

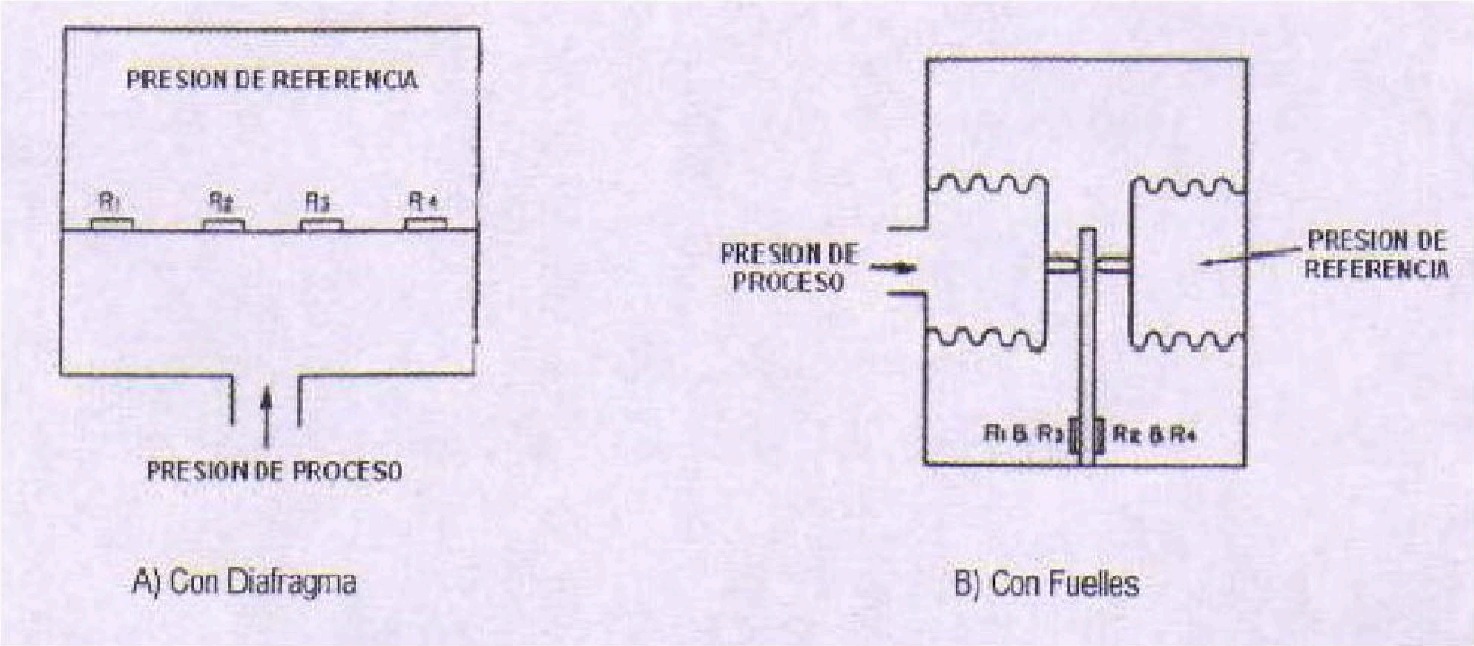
Los materiales empleados para la fabricación de medidor de esfuerzo son diversos conductores metálicos, como las aleaciones constantan, advance, karma, isoelastic, y también semiconductores como el silicio y el germanio. Las aleaciones metálicas tienen la ventaja de un bajo coeficiente de temperatura.

Tipos físicos de medidores de esfuerzo


SR-4
d
c
a
e
SR-4
SR-4
c
e
SR-4
a
d
b
d
a
25,4
6,35
1,59
19,05
B

Medidor de esfuerzos

En la práctica, el medidor de deformaciones va asociado con un fuelle o un diafragma. Los medidores tipo alambre y película son hechos de metales y aleaciones metálicas. El más reciente avance en este campo son los de película delgada.

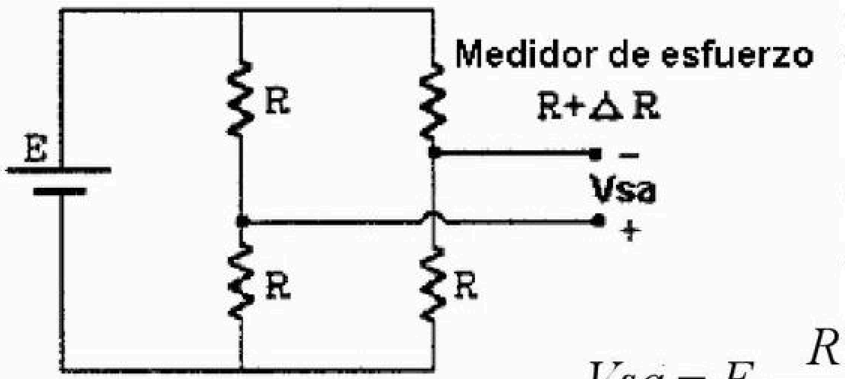

PRESION DE REFERENCIA
R1
R2
R3
R4
PRESION DE PROCESO
PRESION DE PROCESO
PRESION DE REFERENCIA
R1 & R3
R2 & R4

A) Con Diafragma

B) Con Fuelles

Circuito de medición

El puente de Wheatstone es el arreglo más común, por ser sensible, para sensar cambios producidos por el medidor de esfuerzo.



Cuando no hay deformación, se asume que todas las resistencias son iguales. Entonces, si ΔR = 0 y todas las resistencias son iguales Vsa = 0.

Si se tiene una deformación que produce un ΔR ≠ 0, se tiene:

$$Vsa = E\frac{R}{R+R} - E\frac{R}{R+(R+\Delta R)} \qquad Vsa = \frac{1}{2}E - \frac{R}{2R+\Delta R}E$$

$$Vsa = \frac{(2R+\Delta R)E - 2RE}{2(2R+\Delta R)} = E\frac{\Delta R}{4R+2\Delta R}$$

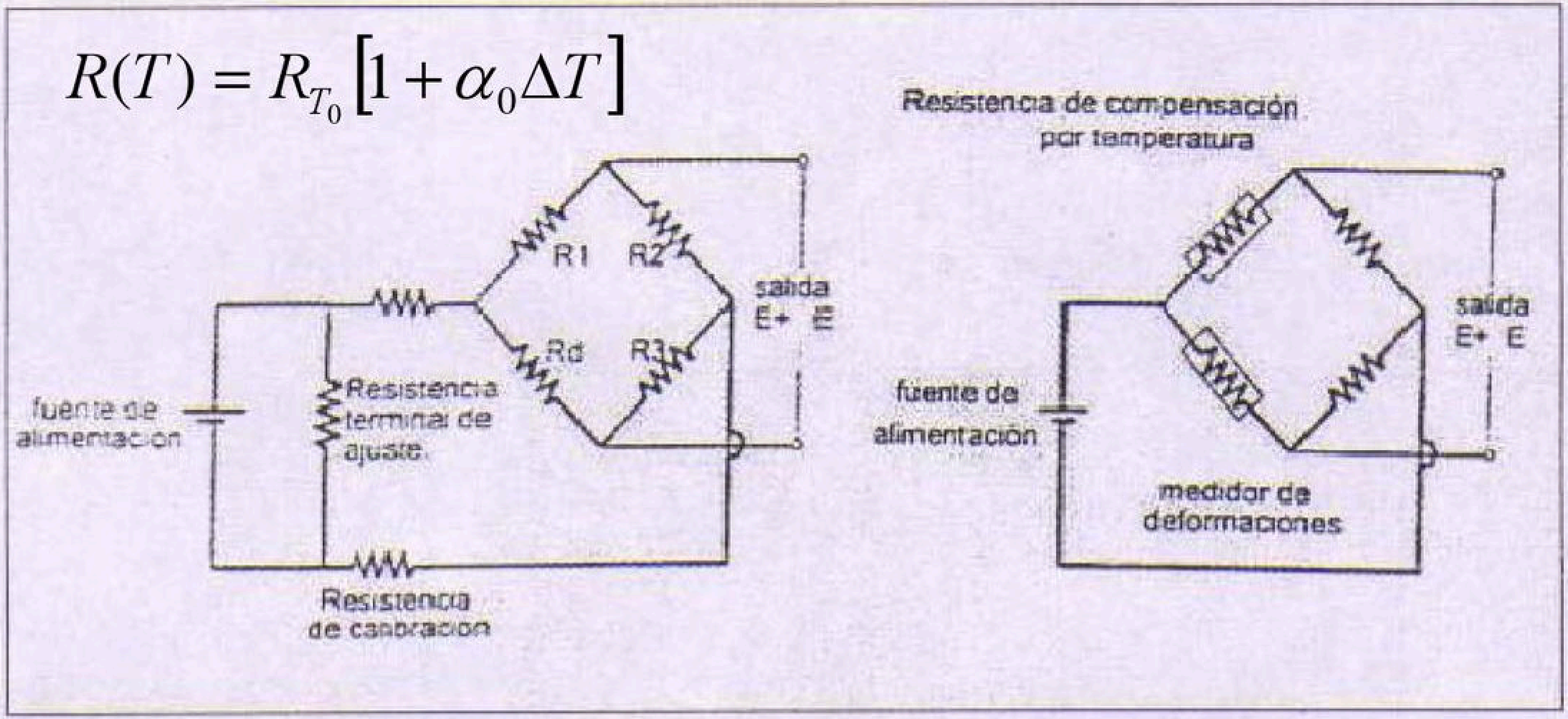
El cambio ΔR es muy pequeño (típicamente de 1 a 10% del valor nominal de R) Entonces 4R >> 2ΔR, y el voltaje de salida se reduce a:

$$Vsa \cong \frac{\Delta R}{4R}E$$

Circuito de medición

Habitualmente se utilizan circuitos en puentes, compensados por temperatura, diseñados para los valores típicos de estas galgas (resistencias nominales de 120 Ω , 350 Ω , 600 Ω y 1000 Ω) utilizando corrientes que no excedan los 10 mA.

$$R(T) = R_{T_0}\left[1 + \alpha_0 \Delta T\right]$$


R1
R2
Rd
R3
salida
E+ E
Resistencia terminal de ajuste
fuente de alimentacion
Resistencia de calibracion
Resistencia de compensación por temperatura
salida
E+ E
fuente de alimentación
medidor de deformaciones

Medidor tipo Strain Gage

VENTAJAS	LIMITACIONES
Buena Exactitud	Alimentación regulada de voltaje requerida
Amplio rango de presión	Baja señal de salida
Estabilidad de largo termino	Dispositivos adicionales de lectura y transmisión
Pequeños y compactos	Limitado a temperaturas de 300 °C
Características robustas contra golpes y vibraciones	Costo de moderado a alto
Sin partes móviles	
Buena capacidad de sobrecarga	
Resolución continua y uniforme	
Mantenimiento simple	

Medidores de presión diferencial

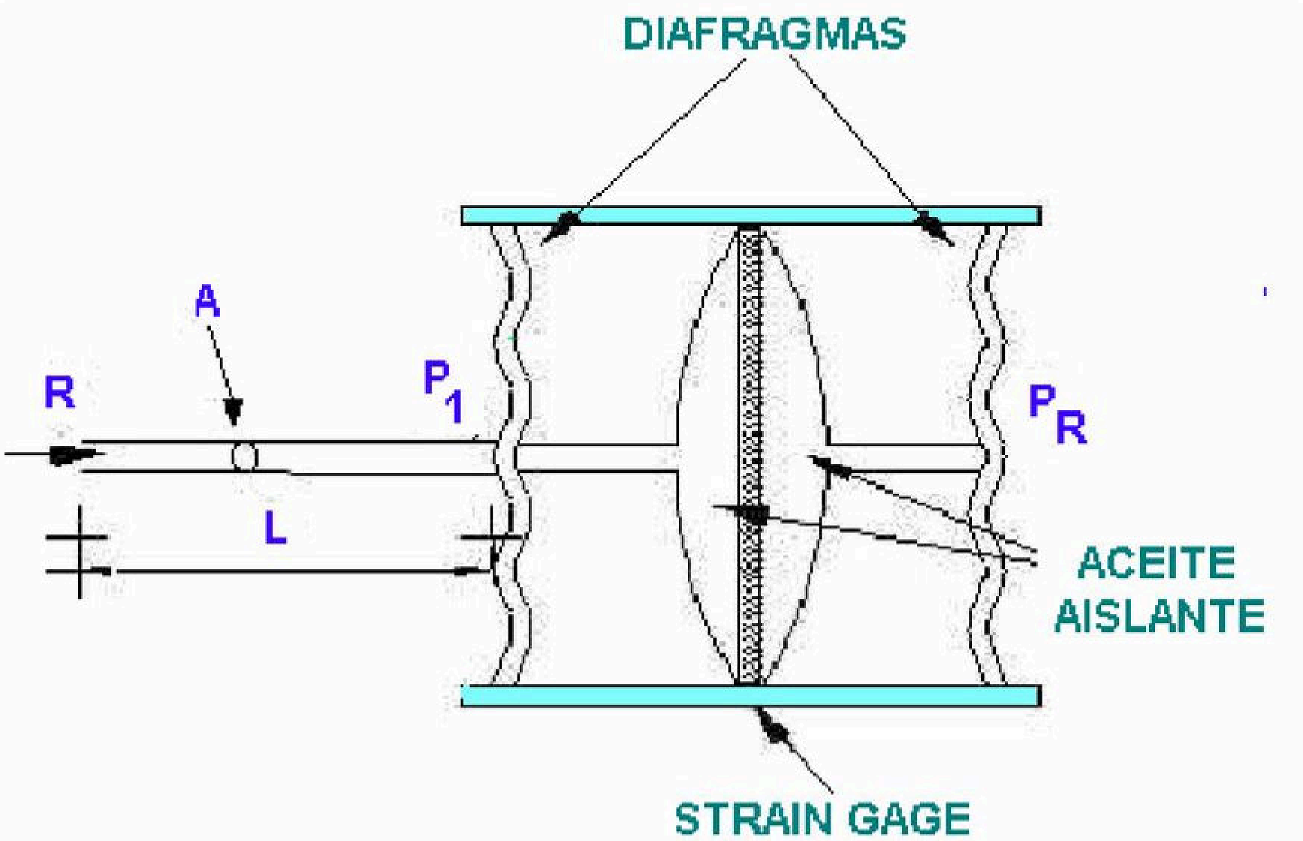
Frecuentemente es necesario conocer la presión relativa entre dos puntos; tales sistemas se conocen como sensores de presión diferencial.

Existen diferentes métodos y a continuación se analiza un sensor de presión diferencial, basado en un medidor de esfuerzo.

Las señales de presión, P_1 y P_R, se entregan a dos diafragmas aislantes, que impiden que el fluido ingrese a la cámara sensible. La presión es transmitida a la sección sensible mediante capilares, que están llenos de un fluido adecuado (por ejemplo aceite de silicon).

Medidores de presión diferencial

Existen dos cámaras separadas por el medidor en el centro, conocida como el diafragma sensor, cuyo único requisito es que impida el paso del fluido interno de un lado hacia el otro.


DIAFRAGMAS
A
R
P_1
P_R
L
ACEITE AISLANTE
STRAIN GAGE

Medidores de presión diferencial

Uno de los diafragmas aislantes puede ser sujeto a una presión constante de referencia, de modo que la posición del diafragma de referencia será una función de la presión aplicada en un sólo lado. Similarmente, se pueden aplicar dos presiones y la posición del diafragma sensor será una función de la presión diferencial.

Consejos de Calibration para transmisores de presión y D/P

- Nunca desconecte o abra sin la confirmación de que es seguro
- Lea y siga las instrucciones
- Utilice el equipo apropiado
- Elimine fugas
- Drene todos los líquidos
- Calibre en la temperatura
- Calibre en la presión

Problemas comunes en la medición de presión

- Líneas conectadas
- Sobrerango
- Materiales de construcción
- ¿Otros?

Características de los medidores de presión

CARACTERÍSTICA	DIAFRAGMAS	FUELLES	BOURDONES	STRAIN GAGE	CAPACITIVO
Exactitud	.1 a 1% del span	0.5% del span	0.5% del span	± 0.25% E.T.	± 0.15% E.T.
Rango recomendable	0 a 12 Kg/cm^2	0 a 35 Kg/cm^2	1 a 1500 Kg/cm^2	0.3 a 13000 Kg/cm^2	0 a 300 Kg/cm^2
Span mínimo	7.5" H_2O	0.3 Kg/cm^2	1 Kg/cm^2	0.3 Kg/cm^2	7 cm H_2O
Sensitividad	0.25% del span	0.25% del span	0.01% del span	0.01% E.T.	0.02% E.T.
Temperatura máxima	300 °C	120 °C	300 °C	300 °C	120 °C
Servicio en presión	Absoluta, diferencial y vacío	Absoluta, diferencial y vacío	Absoluta, diferencial y vacío	Absoluta, diferencial y vacío	Absoluta, diferencial y vacío
Elemento secundario	Requerido	Requerido	Requerido	Integral	Integral
Suministro de energía	Al transmisor	Al transmisor	Al transmisor	Al sensor y transmisor	Al sensor y transmisor
Respuesta	Lineal	Lineal	Lineal, excepto con el tipo C	Lineal	Lineal
Salida	Analógica	Analógica	Analógica	Analógica y digital	Analógica y digital

Setting the Standard for Automation™

INSTRUMENTACIÓN BÁSICA DE PROCESOS INDUSTRIALES

CAPÍTULO 5

MEDICIÓN DE NIVEL

DOCENTE
MARCELO SEPULVEDA ITURRIETA

Medición de Nivel

En la industria, la medición de nivel es muy importante, tanto desde el punto de vista del funcionamiento del proceso como de la consideración del balance adecuado de materias primas o de productos finales.

Dentro de los procesos industriales la medición y el control de nivel se hace necesario cuando se pretende tener una producción continua, cuando se desea mantener una presión hidrostática, cuando un proceso requiere de control y medición de volúmenes de líquidos ó; bien en el caso más simple, para evitar que un líquido se derrame, la medición de nivel de líquidos, dentro de un recipiente parece sencilla, pero puede convertirse en un problema más ó menos difícil, sobre todo cuando el material es corrosivo ó abrasivo, cuando se mantiene a altas presiones, cuando es radioactivo ó cuando se encuentra en un recipiente sellado.

Medición de nivel en líquidos

Se realiza de forma indirecta en base a:

- La altura de líquido sobre una línea de referencia,
- La presión hidrostática,
- El desplazamiento producido en un flotador por el propio líquido contenido en el tanque del proceso,
- Aprovechando características eléctricas del líquido.

Medición de nivel en líquidos

Se dividen en tres tipos:

- Los instrumentos de nivel de medida directa.
- Los que miden el nivel aprovechando la presión hidrostática.
- Los que utilizan características eléctricas del líquido.

Instrumentos de nivel de medida directa

Los instrumentos de medida directa se dividen en:

- Medidor de sonda
- Medidor de cinta y plomada
- Medidor de nivel de cristal
- Medidor de flotador.

Instrumentos de nivel por presión hidrostática

Los que miden el nivel aprovechando la presión hidrostática se dividen en:

- Medidor manométrico
- Medidor de membrana
- Medidor de tipo burbujeo
- Medidor de presión diferencial de diafragma

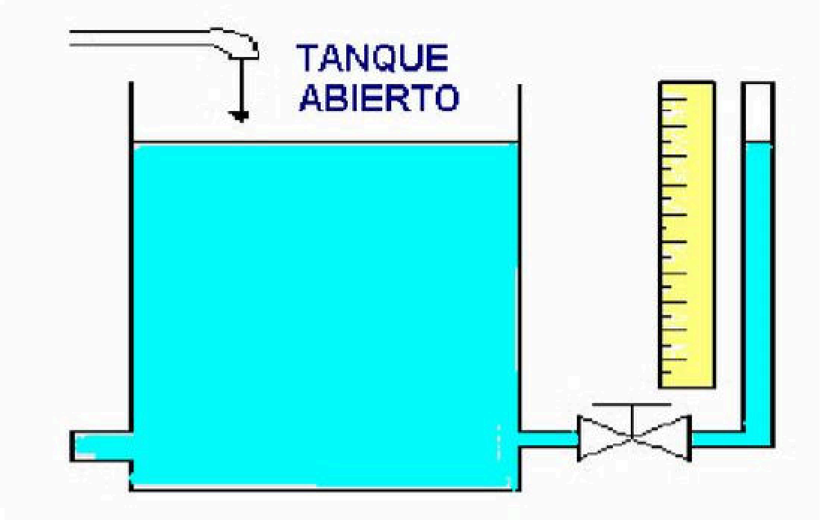
Instrumentos de nivel por característica eléctrica

Los que utilizan características eléctricas del líquido se clasifican en:

- Medidor conductivo
- Medidor capacitivo
- Medidor ultrasónico
- Medidor de radiación
- Medidor láser

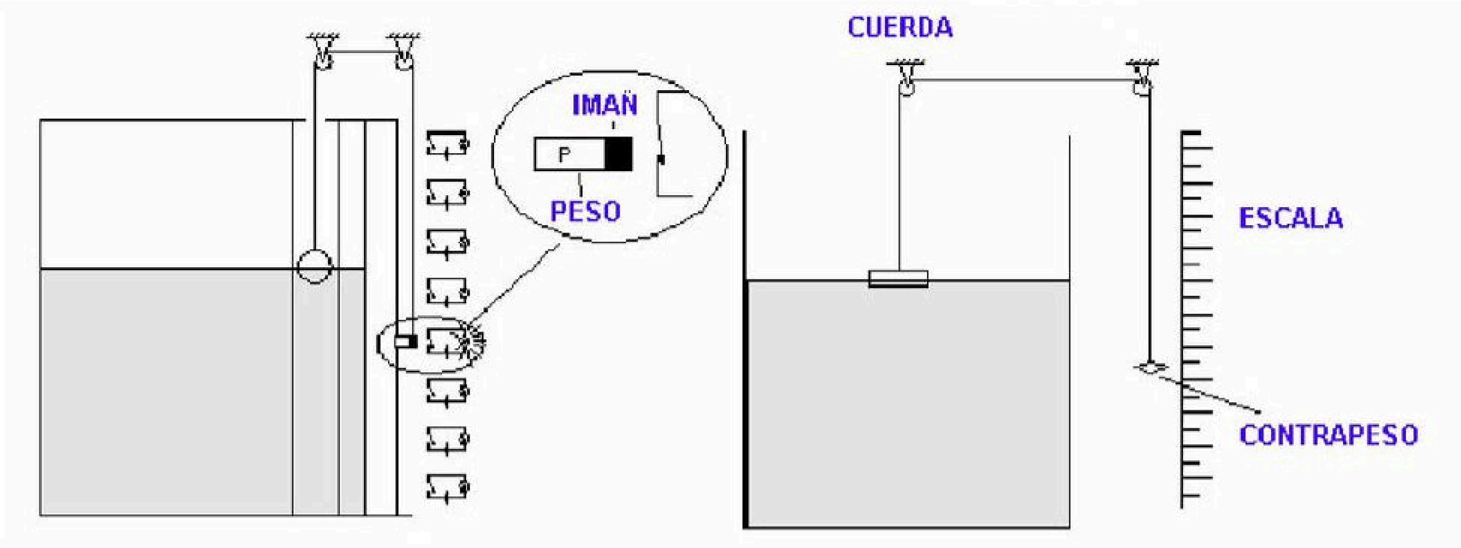
Medidor de Sonda o regla

Consiste en una varilla o regla graduada, de longitud conveniente para introducirla dentro del depósito. La determinación del nivel se efectúa por la lectura directa de la longitud mojada por el líquido. En el momento de la lectura el tanque debe estar abierto a presión atmosférica. Se utiliza generalmente en tanques de gasolina.

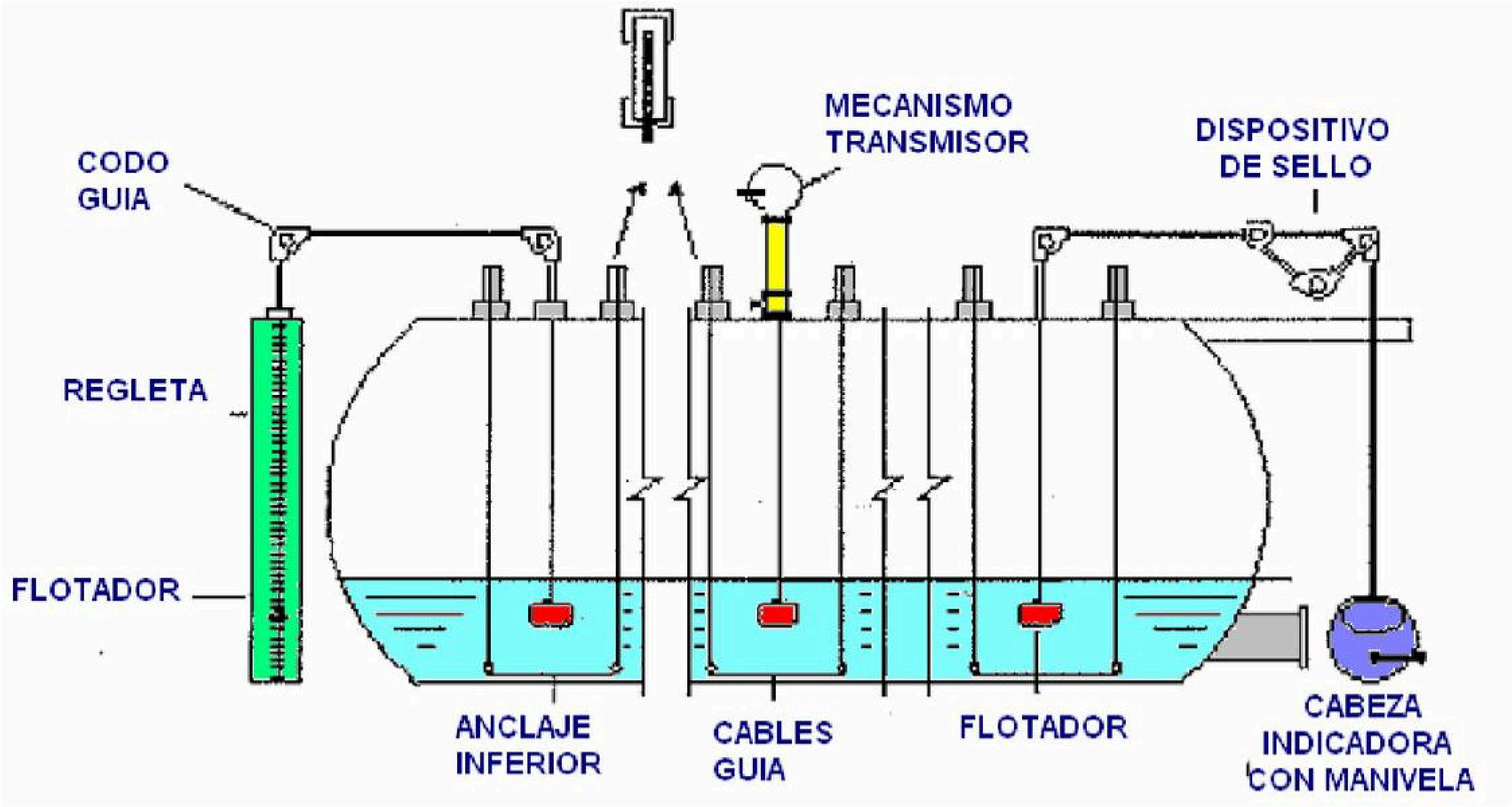


Medidor de cinta

Este sistema graduada y un plomo en la punta y opera bajo el principio de flotación, en el que el flotador actúa balanceado a un indicador o contrapeso que proporciona una indicación directa del nivel. Se emplea cuando es difícil que la regla tenga acceso al fondo del estanque.


IMAÑ
P
PESO
CUERDA
ESCALA
CONTRAPESO

Medidor de cinta


MECANISMO TRANSMISOR
DISPOSITIVO DE SELLO
CODO GUIA
REGLETA
FLOTADOR
ANCLAJE INFERIOR
CABLES GUIA
FLOTADOR
CABEZA INDICADORA CON MANIVELA

Medidor de cinta y plomada

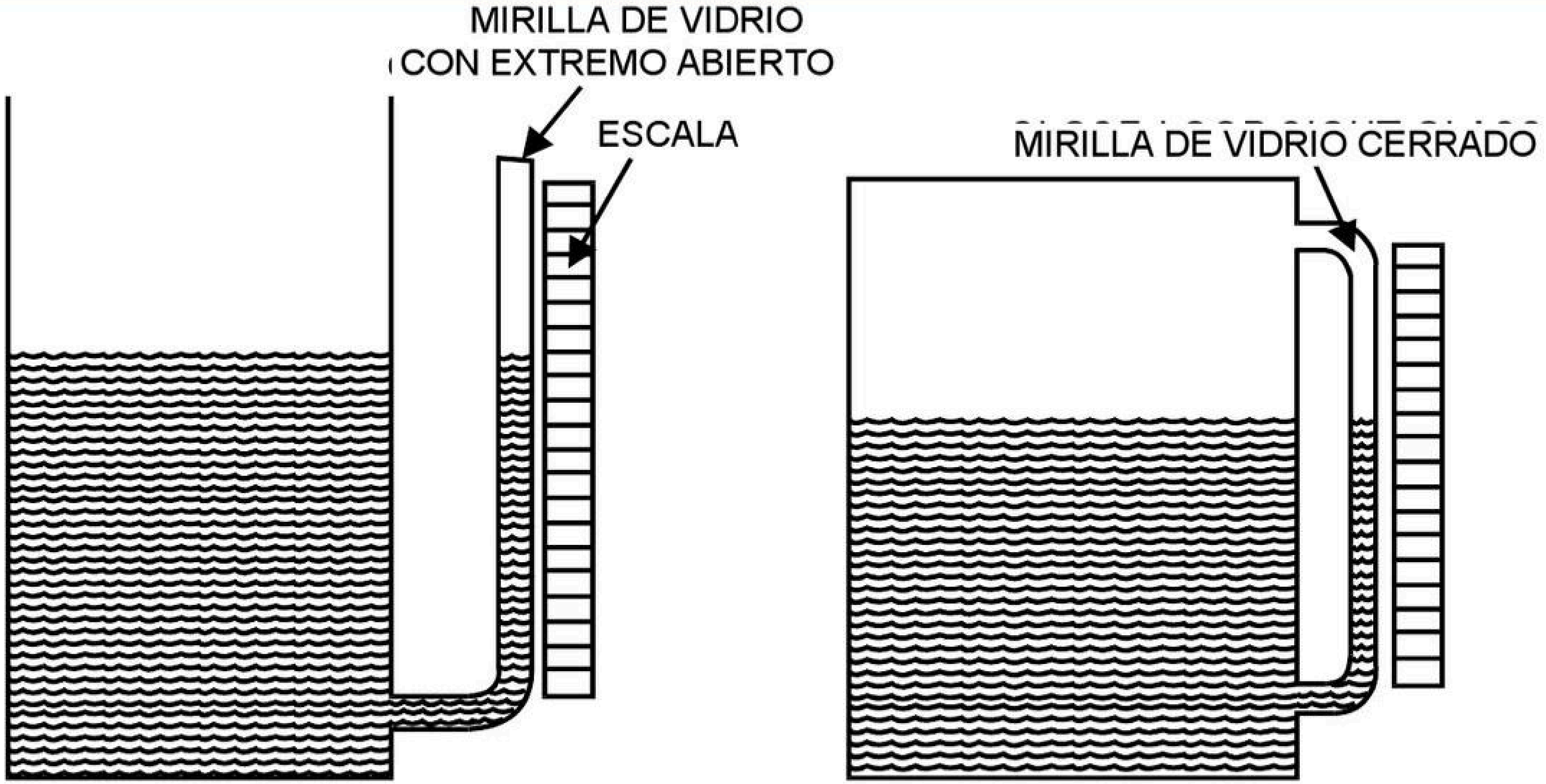
VENTAJAS	LIMITACIONES
Construcción e instalación simple	Baja presión
Bajo costo	Presión de operación limitada a unas cuantas “H_2O manométicas
Resistencia buena a la corrosión	
Adaptable para transmisión	

Medidor de cristal (mirilla)

Consiste en un tubo de vidrio con sus extremos conectador a bloques metálicos y cerrados por prensaestopas que están unidos al tanque generalmente mediante tres válvulas, dos de cierre de seguridad en los extremos del tubo para impedir el escape del líquido en caso de rotura del cristal y una de purga.

El nivel de cristal normal se emplea para presiones hasta 7 bar. A presiones más elevadas el cristal es grueso, de sección rectangular y está protegido por una armadura metálica.

Mirillas de vidrio básicas


MIRILLA DE VIDRIO
CON EXTREMO ABIERTO
ESCALA
MIRILLA DE VIDRIO CERRADO

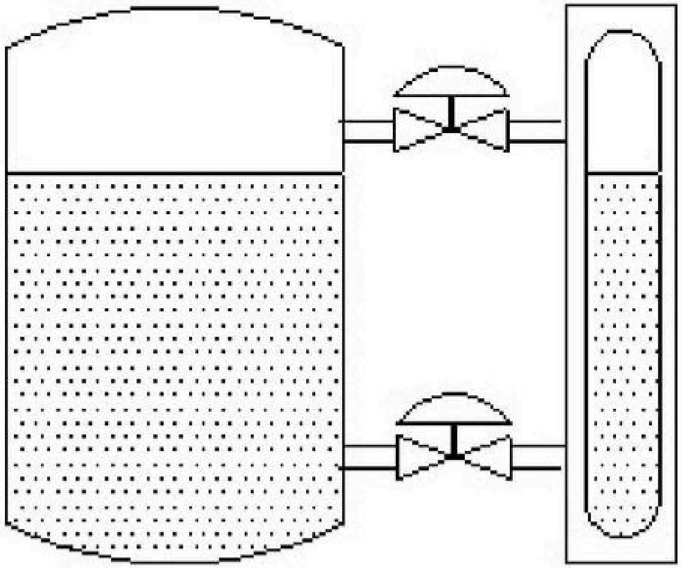
(A) RECIPIENTE ABIERTO O VENTILADO

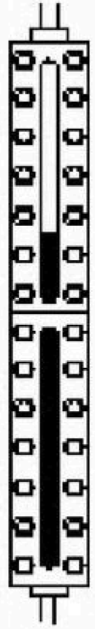
(B) RECIPIENTE PRESURISADO

ESCALA

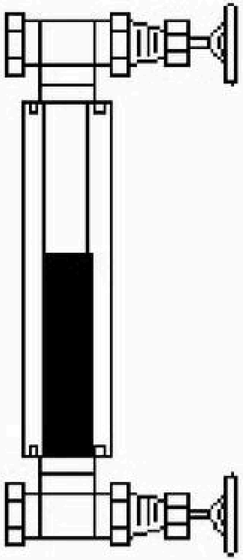
Medidor de cristal (mirilla)

Generalmente se conocen como vidrios de nivel





CRISTAL CON ARMADURA



CRISTAL NORMAL

Medidor de fuerza de flotación

La fuerza producida por un cuerpo sumergido, la cual es igual al peso del fluido que dicho cuerpo desplaza se conoce como fuerza de flotación.

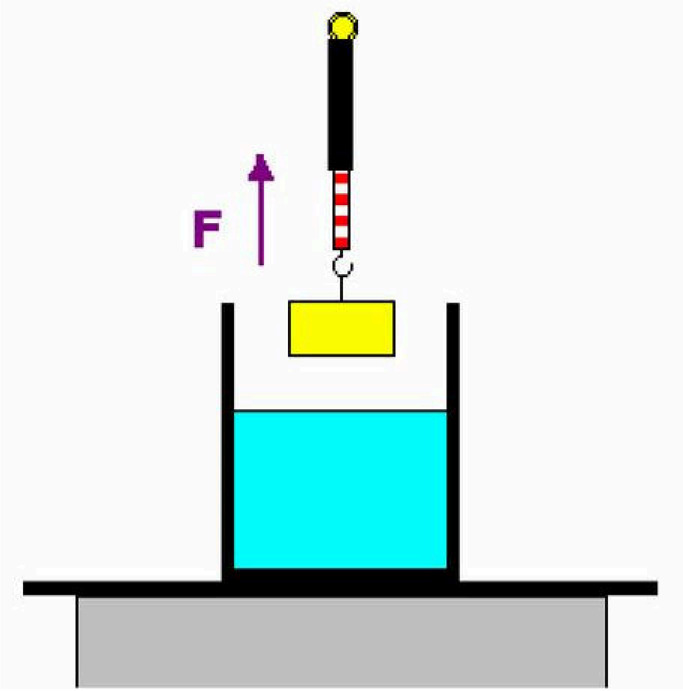
Bajo este principio se tienen dos tipos de medidores:

- Desplazadores (fuerza)
- Flotadores (movimiento)

Medidor tipo desplazador

Su operación se basa en el principio de Arquímedes:

"Todo cuerpo sumergido en un fluido experimenta una fuerza de empuje vertical hacia arriba igual al peso del fluido desalojado".



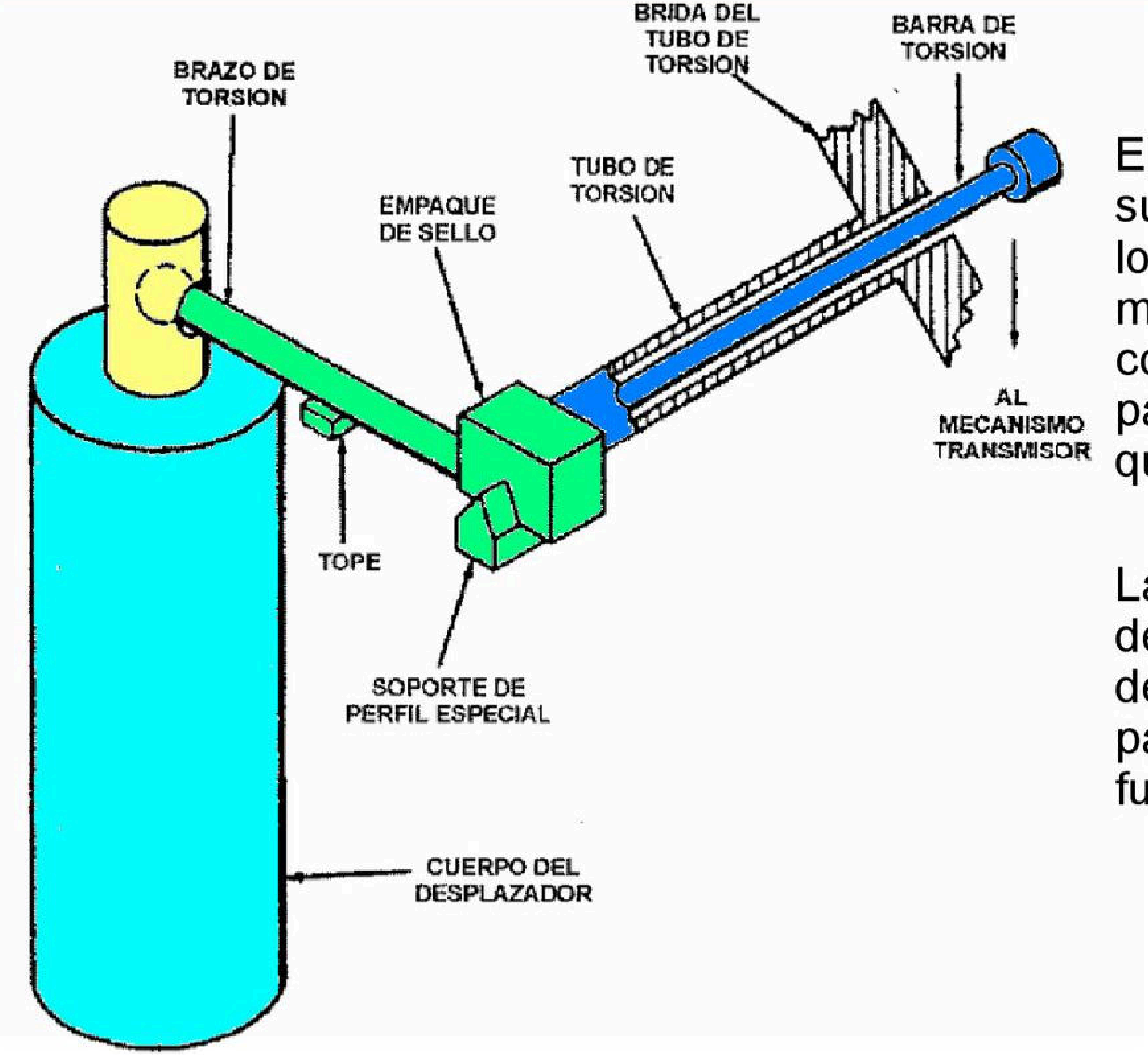
Medidor tipo desplazador

Consiste en cuerpo inmerso, conocido como desplazador, en el líquido y conectado mediante un brazo a un tubo de torsión y unido rígidamente al recipiente. Dentro del tubo y unido a su extremo libre se encuentra una varilla que transmite el movimiento de giro a un transmisor exterior.

El tubo de torsión se caracteriza fundamentalmente porque el ángulo de rotación de su extremo libre es directamente proporcional a la fuerza aplicada.

Al aumentar el nivel, el líquido ejerce un empuje sobre el desplazador igual al volumen de la parte sumergida multiplicada por la densidad del líquido, tendiendo a neutralizar su peso propio, así que el esfuerzo medido por el tubo de torsión será muy pequeño. Por el contrario, al bajar el nivel, menor parte del desplazador queda sumergida, y la fuerza de empuje hacia arriba disminuye, resultando una mayor torsión.

Medidor tipo desplazador


BRIDA DEL TUBO DE TORSION
BARRA DE TORSION
BRAZO DE TORSION
TUBO DE TORSION
EMPAQUE DE SELLO
AL MECANISMO TRANSMISOR
TOPE
SOPORTE DE PERFIL ESPECIAL
CUERPO DEL DESPLAZADOR

El desplazador esta suspendido en la barra, lo que restringe su movimiento y evita su contacto con cualquier parte del recipiente en que es colocado.

La varilla que conecta al desplazador con la barra de torsion esta diseñada para absorber las fuerzas laterales.

Características del desplazador

La precisión es del orden de ± 0,5 % a ± 1 % .

El instrumento puede utilizarse en tanques abiertos y cerrados a presión o a vacío, tiene una buena sensitividad pero presenta el inconveniente del riesgo de depósitos de sólidos o de crecimiento de cristales en el flotador que afectan a la precisión de la medida y es apto sólo para la medida de pequeñas diferencias de nivel (2000 mm máximo como estándar).

Características del desplazador

La caja del desplazador se construye de hierro o acero al carbón. La barra de torsión de K-monel como estándar. El desplazador esta construido de acero inoxidable 316.

La presión de trabajo es hasta 40 Kg/cm^2 y 450 ^oC de temperatura. Sus conexiones pueden ser de 1 ½” roscadas o de 2” bridadas.

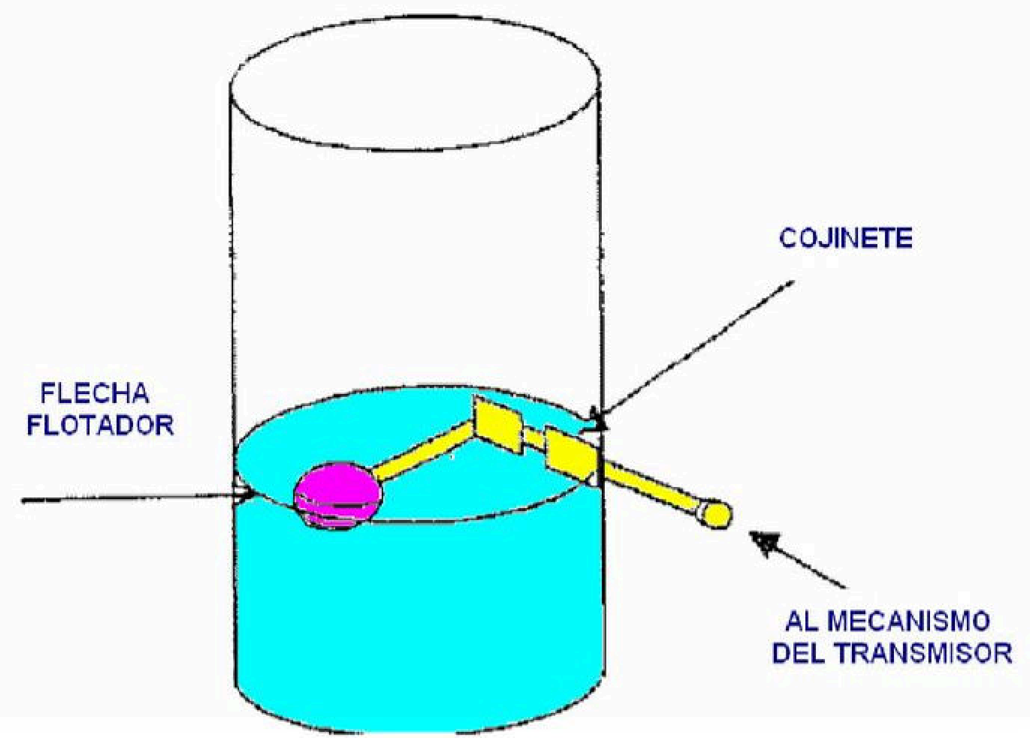
Se considera a este dispositivo simple, confiable y adaptable a un rango amplio de variación de nivel.

Características del desplazador

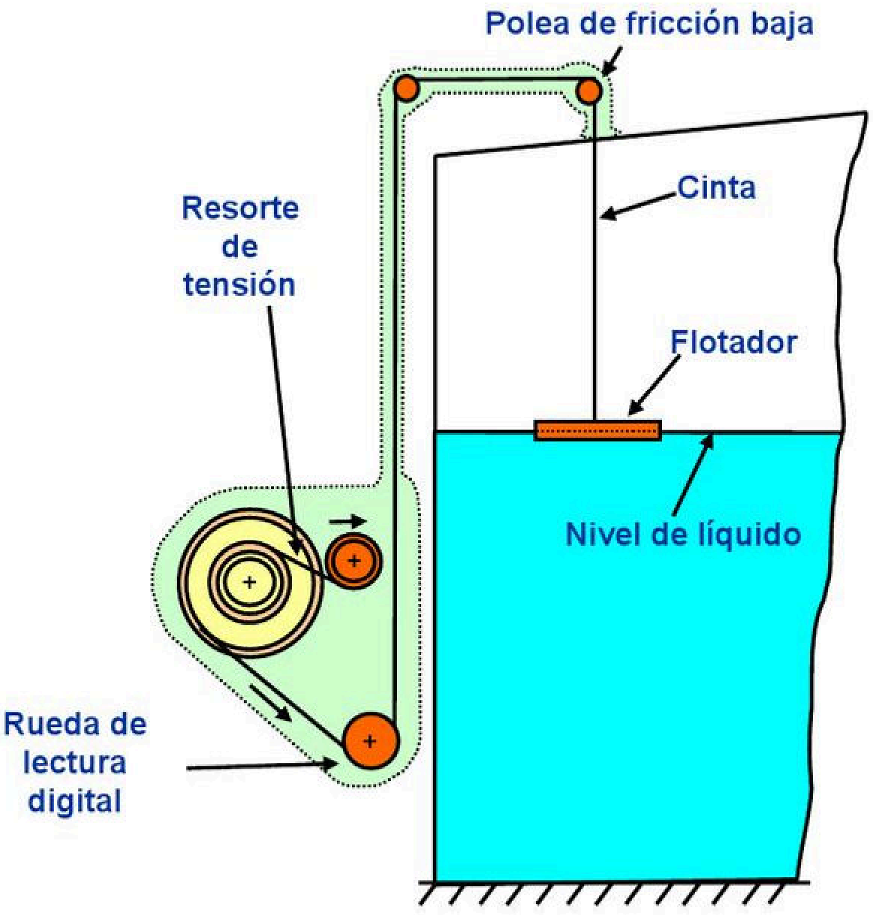
VENTAJAS	LIMITACIONES
Requiere estopero	Pesados y voluminosos
Adaptable a diferentes densidades de líquidos	No puede ser usado en lodos o en fluidos cubrientes
Numerosos materiales de construcción para proporcionar resistencia a la corrosión	Inadecuado para usarse con fluidos turbulentos
Buena exactitud	Debe mantenerse sumergido
Convenientes para fluidos condensables	
Fácil instalación	
Insensible a la presión del recipiente	
Adecuados para la medición de interfaces	

Medidor de flotador

Consiste en un flotador, esfera de metal hueca, ubicado en el seno del líquido unido, por medio de una varilla, a una flecha rotatoria y a un cojinete que en conjunto llevan el movimiento hasta un mecanismo transmisor de balance de movimientos. Para tener máxima sensitividad es necesario que el flotador se sumerja hasta su sección más ancha.


COJINETE
FLECHA
FLOTADOR
AL MECANISMO
DEL TRANSMISOR

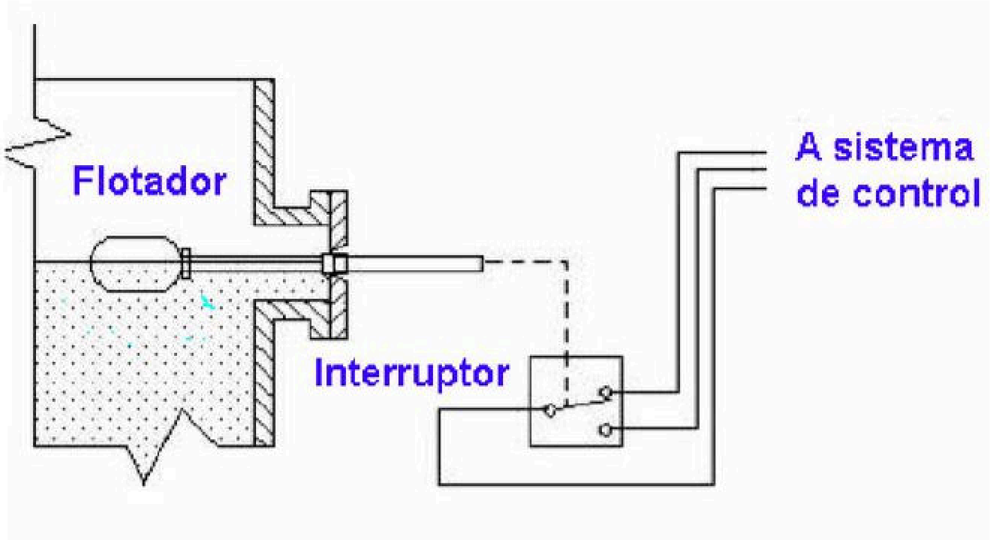
Medidor de flotador


Polea de fricción baja
Cinta
Resorte de tensión
Flotador
Nivel de líquido
Rueda de lectura digital

Flotador

Medidor de flotador

Este tipo de dispositivo es el más antiguo y el más utilizado en la medición de niveles en tanques abiertos y cerrados a presión o a vacío, y son independientes del peso específico del líquido. Tiene el inconveniente de que las partes móviles están expuestas al fluido y pueden romperse, además el flotador debe mantenerse limpio. Los flotadores tienen una precisión de 0,5 %.



Medidor manométrico

Consiste en un manómetro conectado directamente a la parte inferior del tanque. El manómetro mide la presión debida a la altura de líquido ***h*** que existe entre el nivel del estanque y el eje del instrumento.

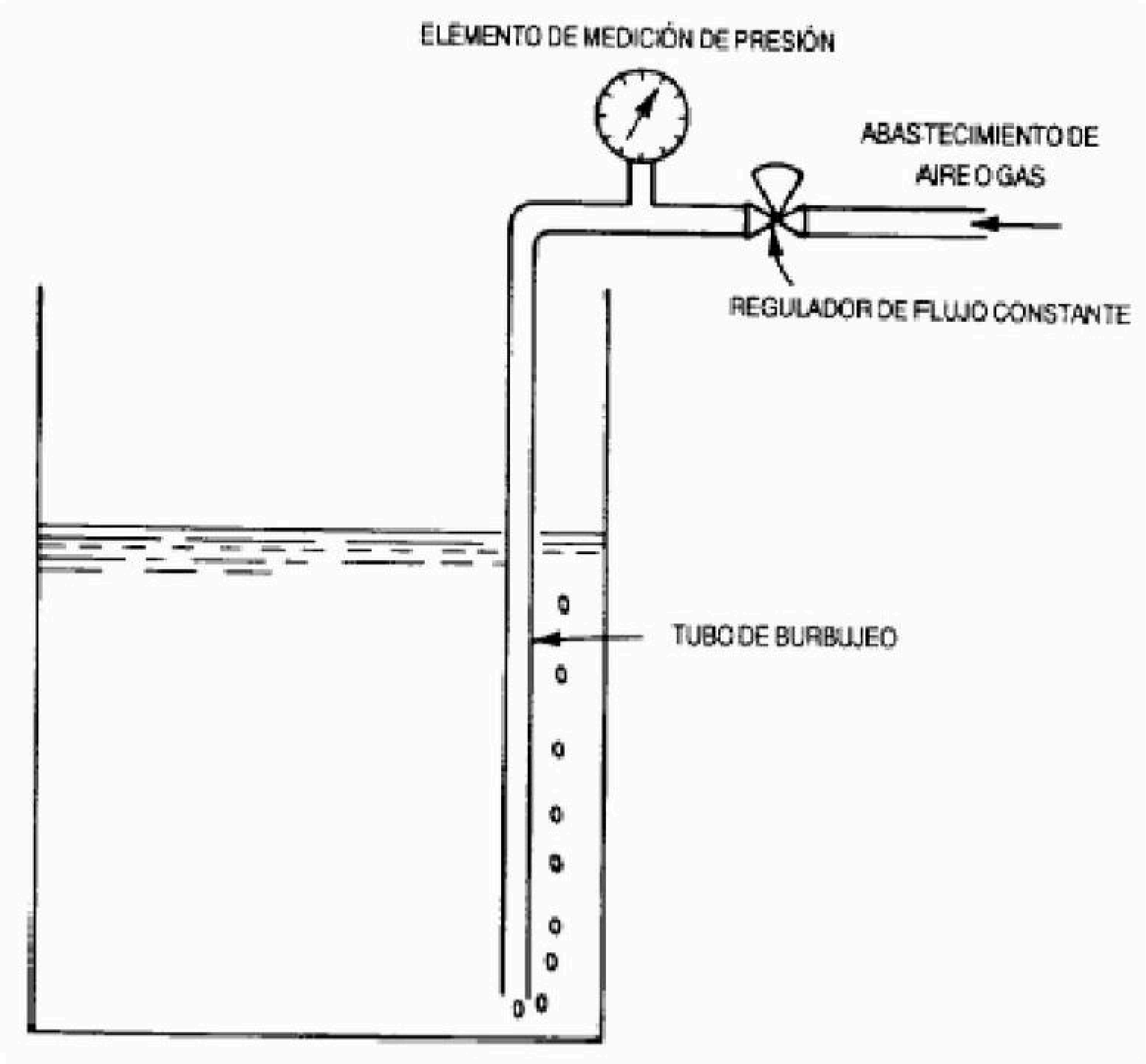
Como las alturas son limitadas, el rango de medida es bastante pequeño, de modo que el manómetro utilizado tiene un elemento de medida del tipo fuelle.

Medidor de tipo burbujeo

Este es uno de los métodos mas antiguos en el que tubo (sumergido en el deposito hasta el nivel mínimo) se encuentra conectado a una fuente de gas con presión suficiente para vencer la presión hidrostática generada por la columna de líquido, hasta producir una corriente continua de burbujas. La presión requerida para producir el flujo continuo de burbujas es la presión hidrostática del líquido y conociendo la densidad del líquido se puede determinar su nivel.

Este sistema es muy ventajoso en aplicaciones con líquidos corrosivos con materiales en suspensión (el fluido no penetra en el medidor, ni en la tubería de conexión).

Medidor de tipo burbujeo


ELEMENTO DE MEDICIÓN DE PRESIÓN
ABASTECIMIENTO DE
AIRE O GAS
REGULADOR DE FLUJO CONSTANTE
TUBO DE BURBUJEO

Medidor de tipo burbujeo

Los gases utilizados son generalmente aire e hidrógeno, lo que representa su máxima desventaja y por esa razón son poco utilizados.

La instalación es económica, particularmente para indicaciones locales o servicios limpios.

La exactitud depende del medidor de presión utilizado y de la uniformidad de la densidad del líquido a medir

Características del Medidor de tipo burbujeo

VENTAJAS	LIMITACIONES
Bueno para problemas severos de corrosión	Dificultad para operarlos en recipientes a baja presión
Bajo costo	No utilizado en recipientes cerrados
Buena exactitud, depende de la calidad del medidor de presión utilizado	No utilizado en recipientes a presión
Bueno para uso con lodos	
Funciona bien con fluidos turbulentos	

Medidor de presión diferencial

Este instrumento es el que mejor satisface los requerimientos de transmisión remota. La fuerza o el movimiento resultante es convertido a una señal normalizada de 3-15 Psig o 4-20 mA.

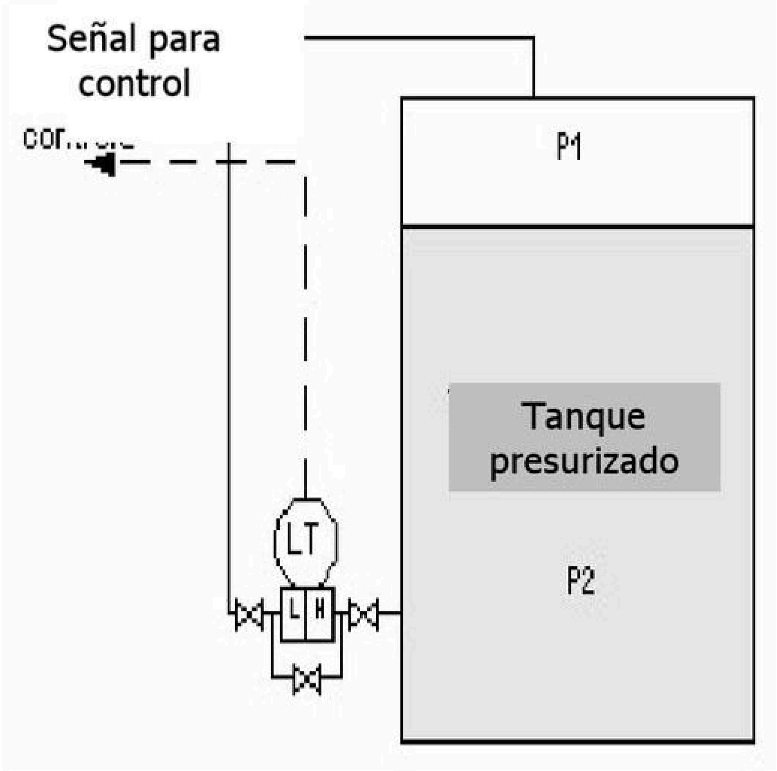
Consiste en un diafragma en contacto con el líquido del estanque, que mide la presión hidrostática en un punto del fondo del estanque. En un estanque abierto esta presión es proporcional a la altura del líquido en ese punto y a su peso específico, es decir:

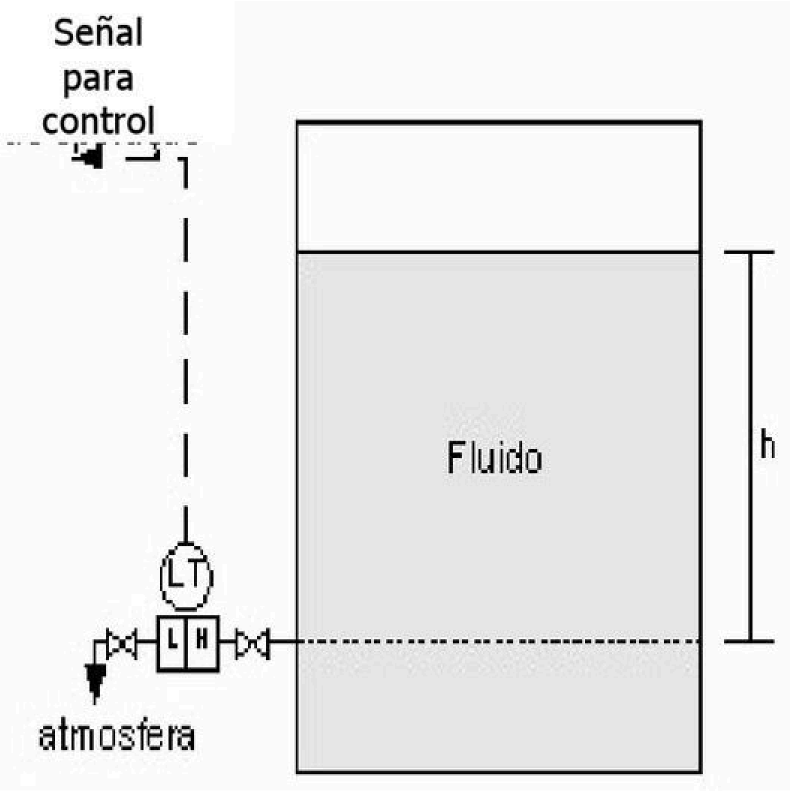
$$P = h\gamma g$$

en la que:

P = *presión*
h = *altura del líquido sobre el instrumento*
γ = *densidad del líquido*
$g = 9{,}8\ m/s^2$

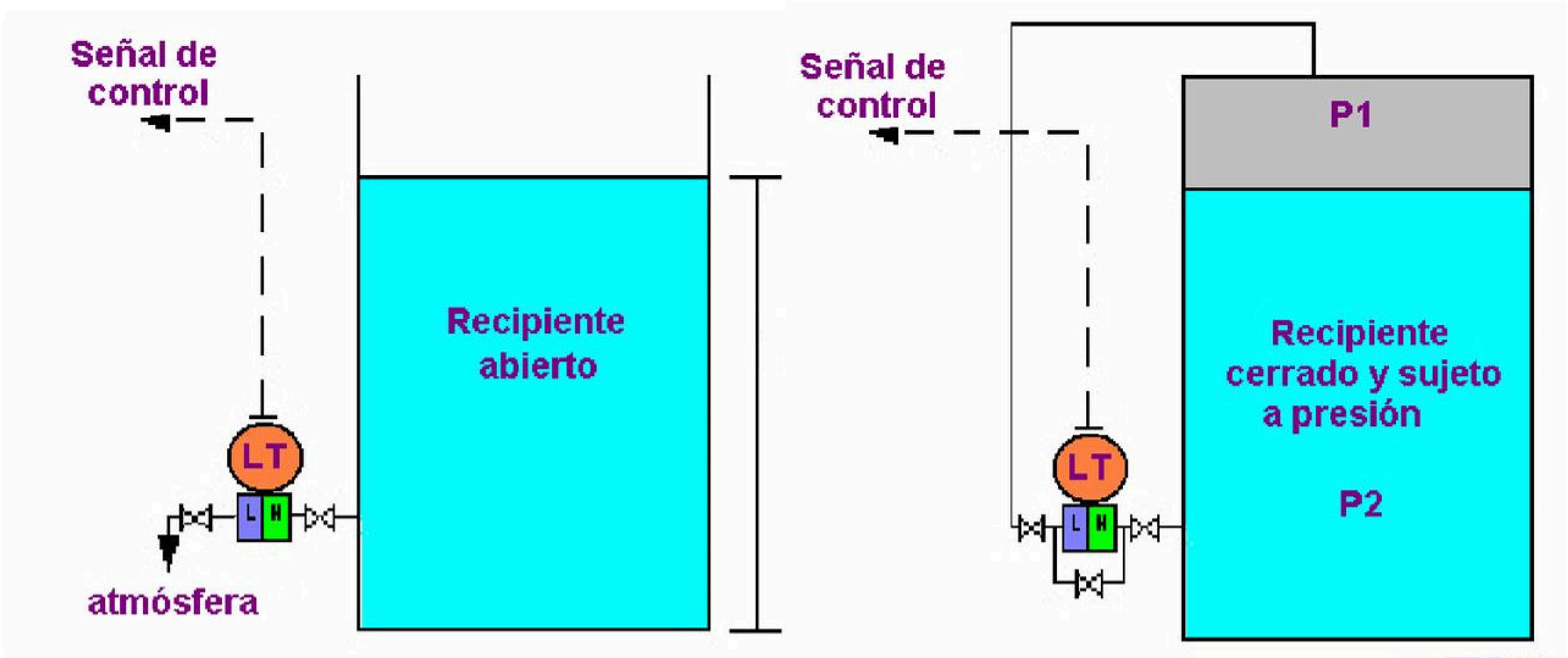
Medidor de presión diferencial


Señal para control
P1
Tanque presurizado
P2
LT
L
H


Señal para control
LT
L
H
atmosfera
Fluido
h

Medidor de presión diferencial

Las celdas o d/p cell, como se conocen, pueden instalarse en tanques atmosféricos o en tanques a presión, variando su esquema de instalación.

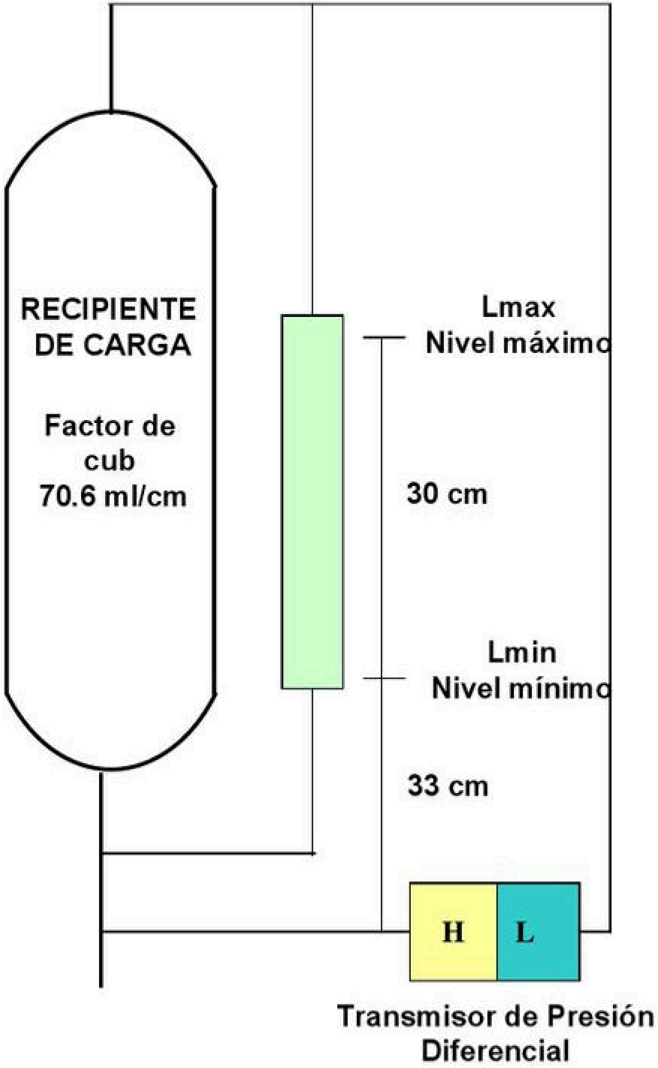

Señal de control
LT
L
H
atmósfera
Recipiente abierto
Señal de control
P1
Recipiente cerrado y sujeto a presión
P2
LT
L
H

Medidor de presión diferencial

La precisión de los instrumentos de presión diferencial es de ± 0,5 % en los neumáticos, ± 0,2 % a ± 0,3 % en los electrónicos, y de ± 0,15 % en los “inteligentes” con señales de salida de 4-20 mA C.D.

Un punto importante en la especificación es el material del diafragma y debe ser el adecuado para resistir la corrosión del fluido (existen materiales de acero inoxidable 316, monel, tantalio, hastelloy B, inoxidable recubierto de teflón).

Medición de nivel con un transmisor de presión diferencial


RECIPIENTE DE CARGA
Factor de cub 70.6 ml/cm
Lmax Nivel máximo
30 cm
Lmin Nivel mínimo
33 cm
H
L
Transmisor de Presión Diferencial

Hmax = Altura total*ρ = 63*0.717 =45.171 cm H2O = 17.78 "H2O

Supresión = Lmin*ρ = 33*0.717 = 23.66 cm H2O = 9.31 "H2O

De acuerdo a los valores de Hmax y supresión se selecciona el rango del transmisor de 0 30 "H2O.

Volumen del líquido:
V (ml) = factor cub. (ml/cm) * Nivel (cm)

Nivel del líquido
L(cm) = (H("H2O)*2.54/ρ) – Lmin (cm)

V(ml) = (70.6 * H*2.54/ρ)-33

Características del Medidor de presión diferencial

VENTAJAS	LIMITACIONES
Adecuados para medición de nivel de interfaces	Costo moderado a alto , especialmente cuando se requieren opciones especiales
Buena exactitud	Variaciones en la densidad, índice de errores en la medición
Disponible para aplicaciones de alta temperatura y presión	Funciona mejor con fluidos limpios ó pocos corrosivo
Fácil instalación	
Fácil calibración	
Con mucha experiencia y años en la aplicación	
Compensación por temperatura	

El medidor de nivel tipo capacitancia

Estos se basan en las propiedades eléctricas de los materiales y en forma básica existen dos tipos:

- Tipo resistivo o conductivo (Admitancia)
- Tipo capacitivo (capacitancia)

El medidor de nivel conductivo o resistivo

Consiste en uno o varios electrodos y un relevador eléctrico o electrónico que es excitado cuando el líquido moja a dichos electrodos. El líquido debe ser lo suficientemente conductor como para excitar el circuito electrónico, y de este modo el aparato puede discriminar la separación entre el líquido y su vapor, tal como ocurre, por ejemplo, en el nivel de agua de una caldera de vapor.

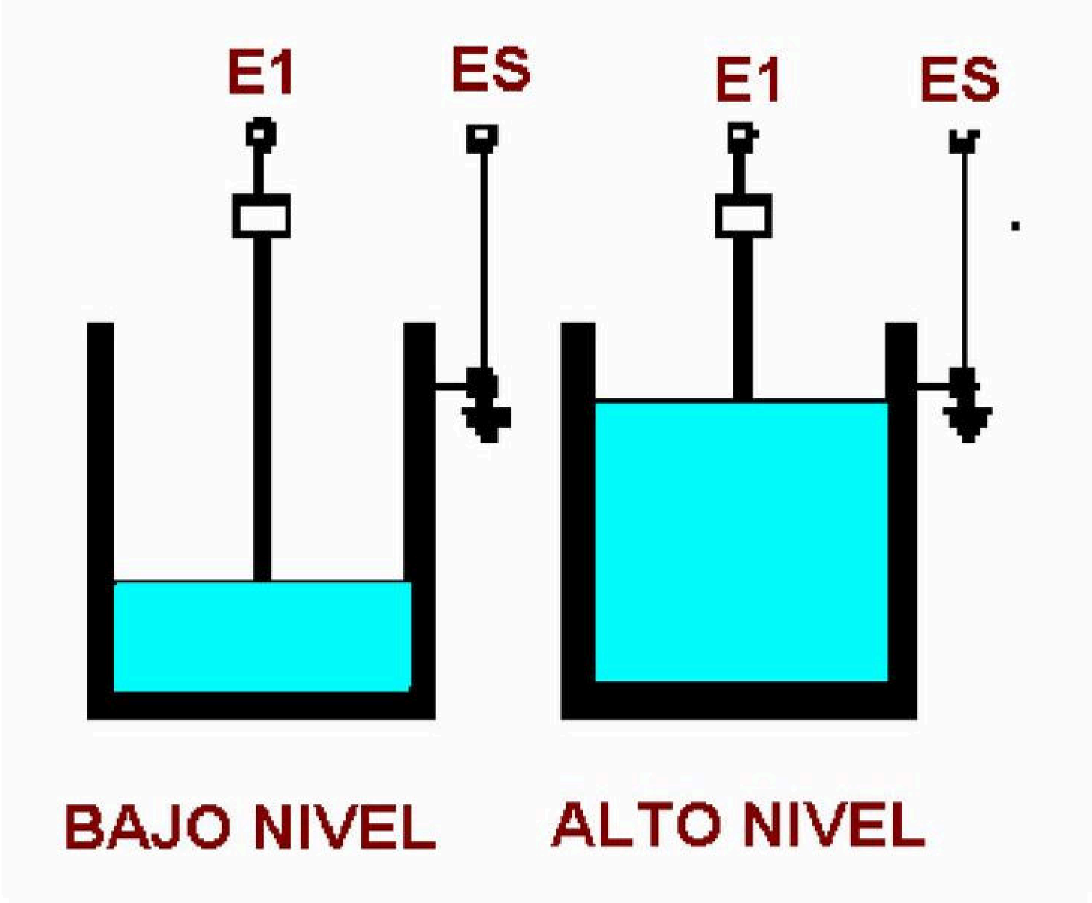
El medidor de nivel tipo resistivo para señales on-off

La impedancia mínima es del orden de los 20 MΩ/cm, y la tensión de alimentación es alterna para evitar fenómenos de oxidación en las sondas por causa del fenómeno de la electrólisis.

Cuando el líquido moja los electrodos se cierra el circuito electrónico y circula una corriente segura del orden de los 2 mA; el relevador electrónico dispone de un temporizador de retardo que impide su enclavamiento ante una ola del nivel del líquido o ante cualquier perturbación momentánea o bien en su lugar se disponen dos electrodos poco separados enclavados eléctricamente en el circuito.

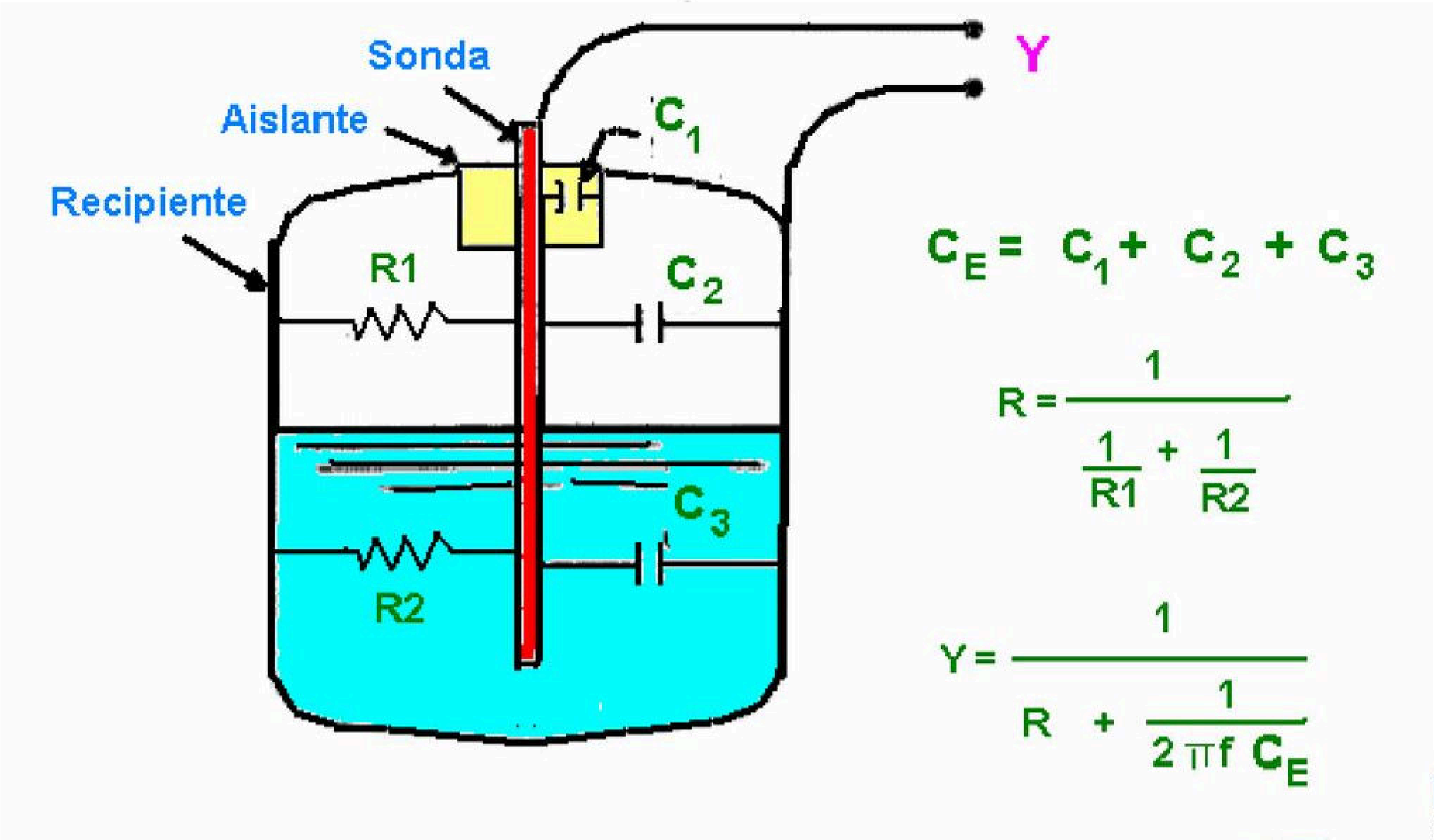
El instrumento se emplea como alarma o control de nivel alto y bajo,

El medidor de nivel tipo resistivo para señales on-off


E1
ES
E1
ES
BAJO NIVEL
ALTO NIVEL

El medidor de nivel tipo resistivo para señales continuas

En este tipo se mide la reactancia del sistema (suma de reactancia inductiva, que es despreciable, y la reactancia capacitiva)


Sonda
Aislante
Recipiente
Y
C_1
R1
C_2
C_3
R2

$$C_E = C_1 + C_2 + C_3$$

$$R = \frac{1}{\frac{1}{R1} + \frac{1}{R2}}$$

$$Y = \frac{1}{R + \frac{1}{2\pi f C_E}}$$

El medidor de nivel tipo resistivo para señales continuas

El hecho de considerar la resistencia, implícitamente en la admitancia, da las siguientes ventajas:

✓Inmune a las adherencias e incrustaciones de la sonda.

✓Adecuado para usarse con líquidos adherentes y espumosos.

✓Puede ignorar variaciones en la composición y temperatura del medio.

✓Adecuado para la medición de lodos y cualquier tipo de sólidos

Medidor de nivel capacitivo

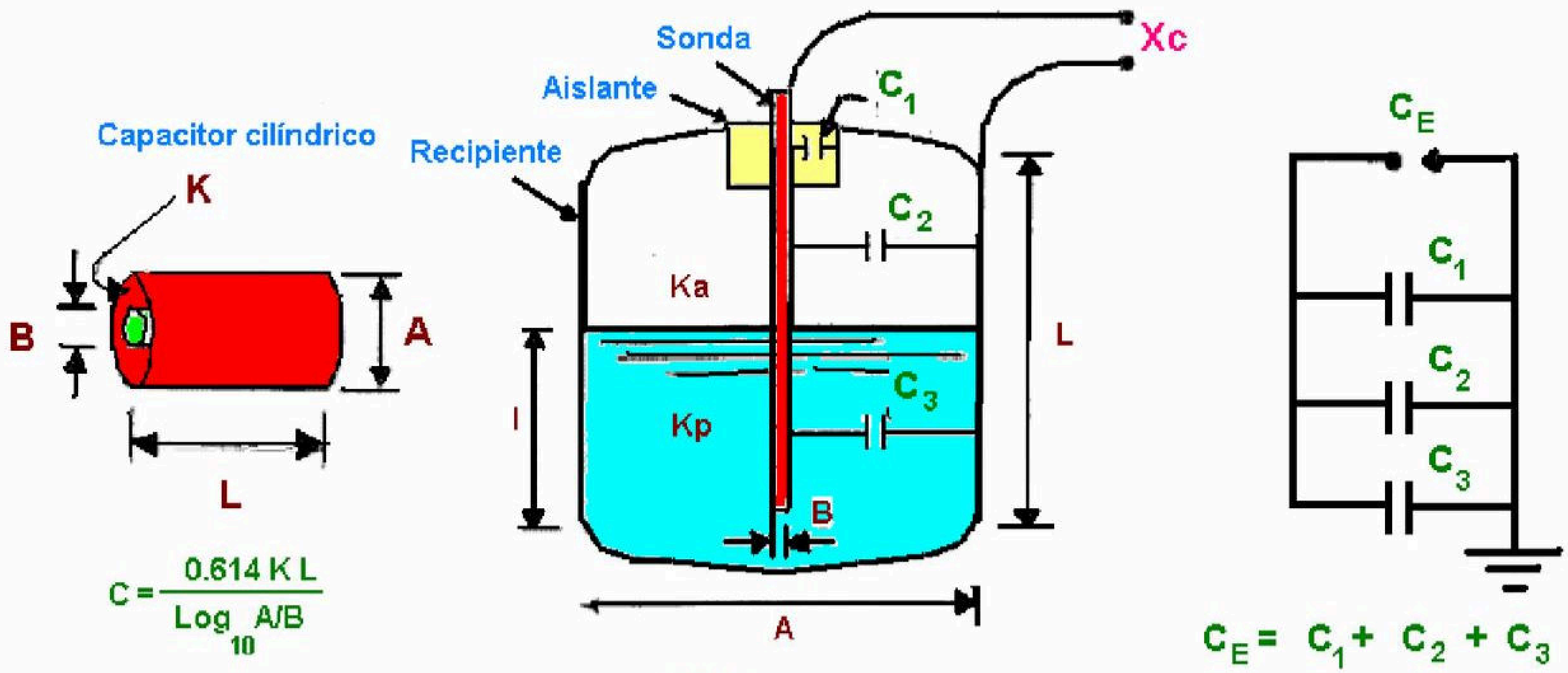
Mide la reactancia capacitiva Xc del capacitor C, formado por el electrodo sumergido en el líquido y las paredes del recipiente, en base a una frecuencia conocida f. La capacidad del conjunto es lineal y depende del nivel del líquido.

$$Xc = \frac{1}{2\pi f C}$$

Para el cálculo de la capacitancia en microfaradios, se toma el valor de la constante dieléctrica K, y las dimensiones físicas del capacitor A, B y L.

En fluidos no conductores se emplea un electrodo normal y la capacidad total del sistema se compone de la del líquido, la del gas superior y la de las conexiones superiores.

Medidor de nivel capacitivo


Capacitor cilíndrico
K
B
A
L
Sonda
Aislante
Recipiente
Xc
C_1
C_2
C_3
Ka
Kp
l
L
B
A
C_E
C_1
C_2
C_3

$$C = \frac{0.614\ K\ L}{\text{Log}_{10}\ A/B}$$

$$C_E = C_1 + C_2 + C_3$$

$$C = \frac{0.614}{\text{Log}_{10}\ A/B}\ (Ka\ (L-1) + Kpl)$$

Características del Medidor de nivel capacitivo

La precisión de estos medidores es de ± 1 %. Se caracterizan por no tener partes móviles, son ligeros, presentan una buena resistencia a la corrosión y son de fácil limpieza. Su campo de medición es prácticamente ilimitado.

Tiene el inconveniente de que la temperatura puede afectar las constantes dieléctricas (0,1 % de aumento de la constante dieléctrica/°C) y de que los posibles contaminantes contenidos en el líquido puedan adherirse al electrodo variando su capacidad con lecturas erróneas, en particular en el caso de líquidos conductores.

Medidor de nivel capacitivo

VENTAJAS	LIMITACIONES
Sin partes móviles expuestas al fluido	Usualmente requiere recalibración si el fluido medido cambia su composición o humedad
Útil en servicios on-off y control continuo en un amplio rango de nivel	No puede ser usado con fluidos adherentes
Fácil instalación	Su medición puede ser afectada por variaciones de temperatura
Ajuste remoto de span y cero en transmisores inteligentes	
Opera con fluidos conductivos o no conductivos	
Las sondas pueden resistir las condiciones mas severas	
Relativamente de bajo costo	

Medidor de nivel ultrasónico

Se basa en la emisión de un impulso ultrasónico a una superficie reflectante y la recepción del eco del mismo en un receptor. El retardo en la captación del eco depende del nivel del tanque.

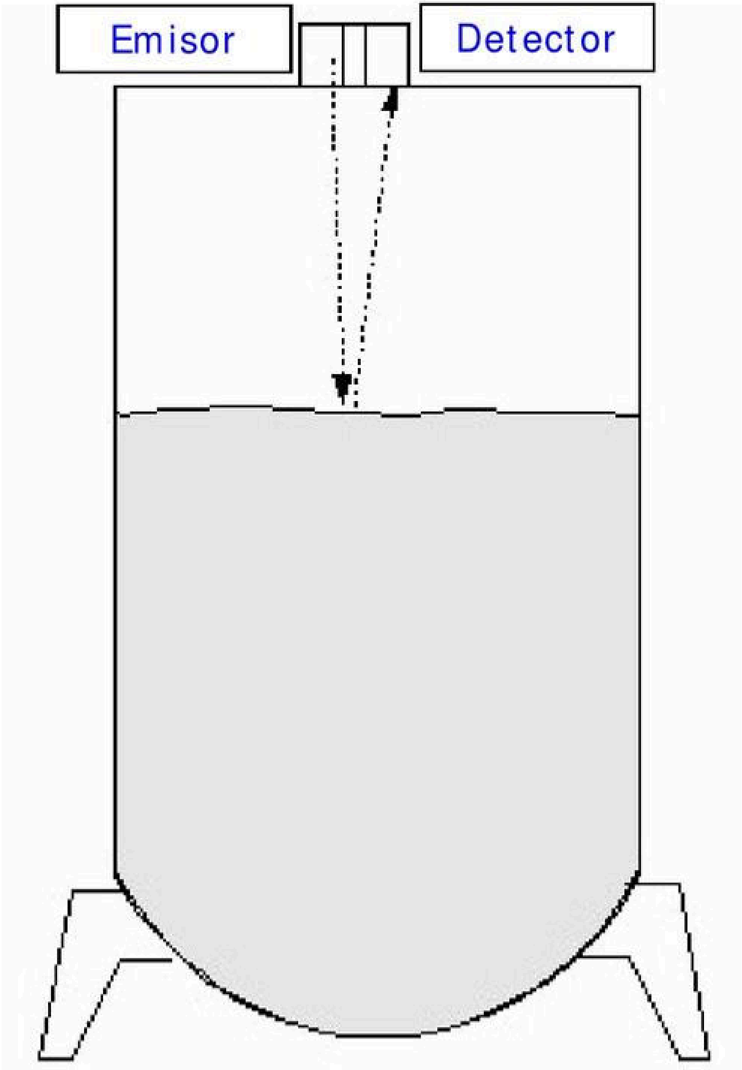
Los sensores trabajan a una frecuencia de unos 20 KHz. Estas ondas atraviesan con cierto amortiguamiento o reflexión el medio ambiente de gases o vapores y se reflejan en la superficie del sólido o del líquido.

Medidor de nivel ultrasónico

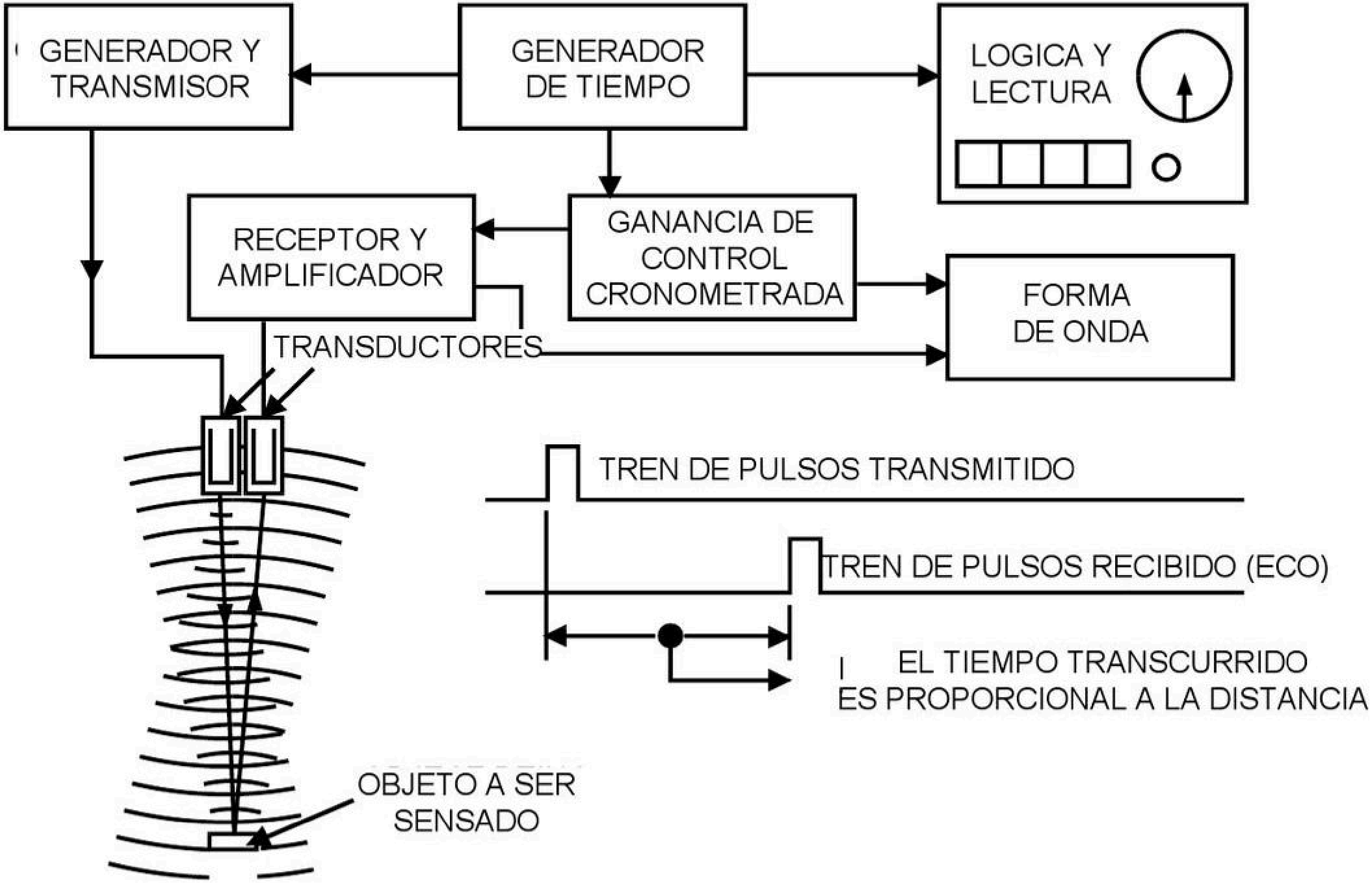
La precisión de estos instrumentos es de ± 1 a 3 %. Son adecuados para todos los tipos de tanques y de líquidos o fangos pudiendo construirse a prueba de explosión. Presentan el inconveniente de ser sensibles a la densidad de los fluidos y de dar señales erróneas cuando la superficie del nivel del líquido no es nítida como es el caso de un líquido que forme espuma, ya que se producen falsos ecos de los ultrasonidos.

La utilización de la computadora permite, a través de un programa, almacenar el perfil ultrasónico del nivel, y así tener en cuenta las características particulares de la superficie del líquido, tal como la espuma, con lo cual se mejora la precisión de la medida.

Medidor de nivel ultrasónico


Emisor
Detector

Medición ultrasónica

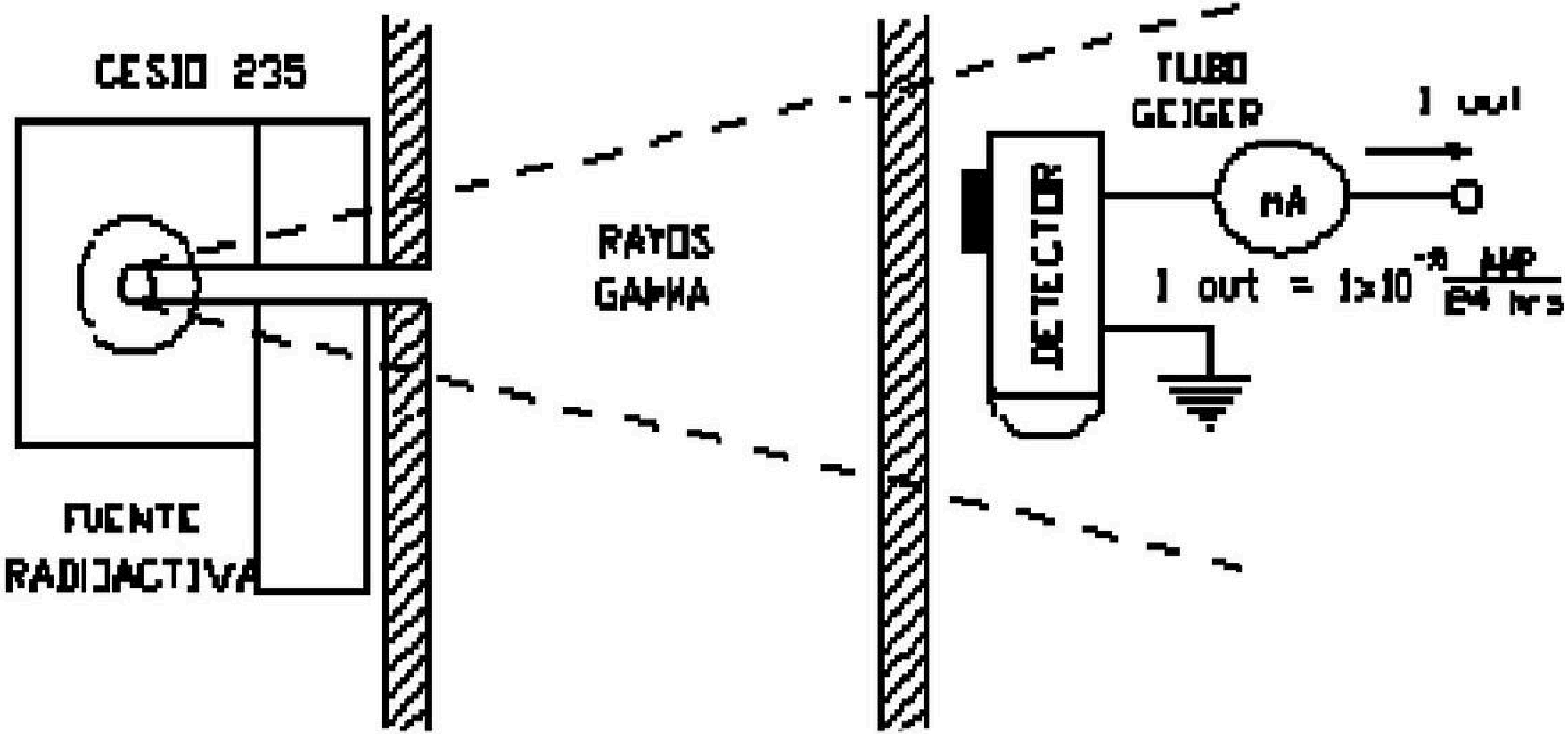

GENERADOR Y TRANSMISOR
GENERADOR DE TIEMPO
LOGICA Y LECTURA
RECEPTOR Y AMPLIFICADOR
GANANCIA DE CONTROL CRONOMETRADA
FORMA DE ONDA
TRANSDUCTORES
TREN DE PULSOS TRANSMITIDO
TREN DE PULSOS RECIBIDO (ECO)
EL TIEMPO TRANSCURRIDO
ES PROPORCIONAL A LA DISTANCIA
OBJETO A SER SENSADO

El sistema de medición de nivel radiactivo

Consiste en un emisor de rayos gamma montado verticalmente en un lado del estanque y con un contador que transforma la radiación gamma recibida en una señal eléctrica de corriente continua. Como la transmisión de los rayos es inversamente proporcional a la masa del líquido en el estanque, la radiación captada por el receptor es inversamente proporcional al nivel del líquido ya que el material absorbe parte de la energía emitida.

Los rayos emitidos por la fuente son similares a los rayos X, pero de longitud de onda es más corta. La fuente radiactiva pierde igualmente su radiactividad en función exponencial del tiempo. La vida media (es decir, el tiempo necesario para que el emisor pierda la mitad de su actividad) varía según la fuente empleada. En el cobalto 60 es de 5,5 años y en el cesio 137 es de 33 años y en el americio 241 es de 458 años.

El sistema de medición de nivel radiactivo


CESIO 235
FUENTE RADIACTIVA
RAYOS GAMMA
TUBO GEIGER
DETECTOR
mA
I out
I out = 1x10-9 AMP / 24 hrs

El sistema de medición de nivel radiactivo

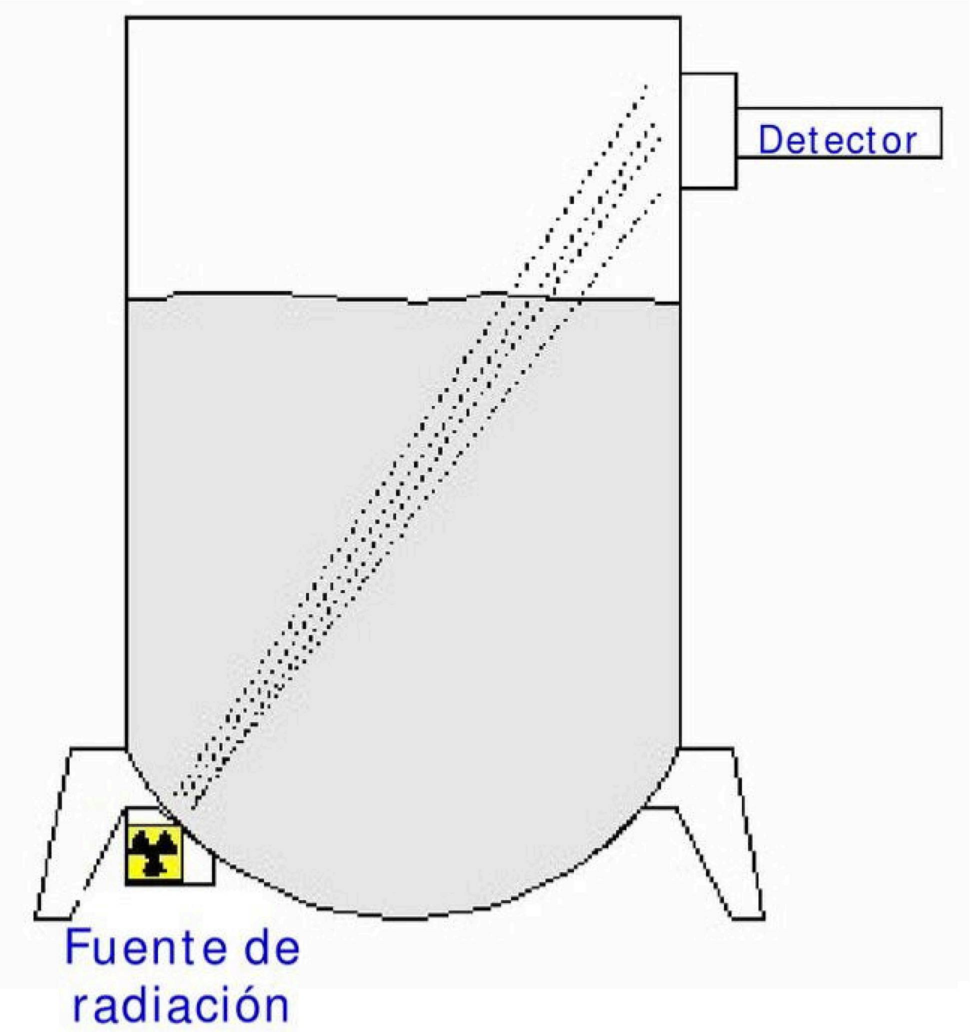
Las paredes del estanque absorben parte de la radiación y al detector llega sólo un pequeño porcentaje. Los detectores son, en general, detectores de cámara iónica y utilizan amplificadores de c.c. o de c.a. El instrumento dispone de compensación de temperatura, de linealización de la señal de salida, y de reajuste de la pérdida de actividad de la fuente de radiación. Como desventajas en su aplicación figuran el blindaje de la fuente y el cumplimiento de las leyes sobre protección de radiación.

La precisión en la medida es de ± 0,5 a ± 2 %, y el instrumento puede emplearse para todo tipo de líquidos ya que no esta en contacto con el proceso. Su lectura viene influida por el aire o los gases disueltos en el líquido.

El sistema de medición de nivel radiactivo

El sistema se emplea en caso de medida de nivel en estanques de acceso difícil o peligroso. Es ventajoso cuando existen presiones elevadas en el interior del tanque que impiden el empleo de otros sistemas de medición. Hay que señalar que el sistema es caro y que la instalación no debe ofrecer peligro alguno de contaminación radiactiva siendo necesario señalar debidamente las áreas donde están instalados los instrumentos y realizar inspecciones periódicas de seguridad.

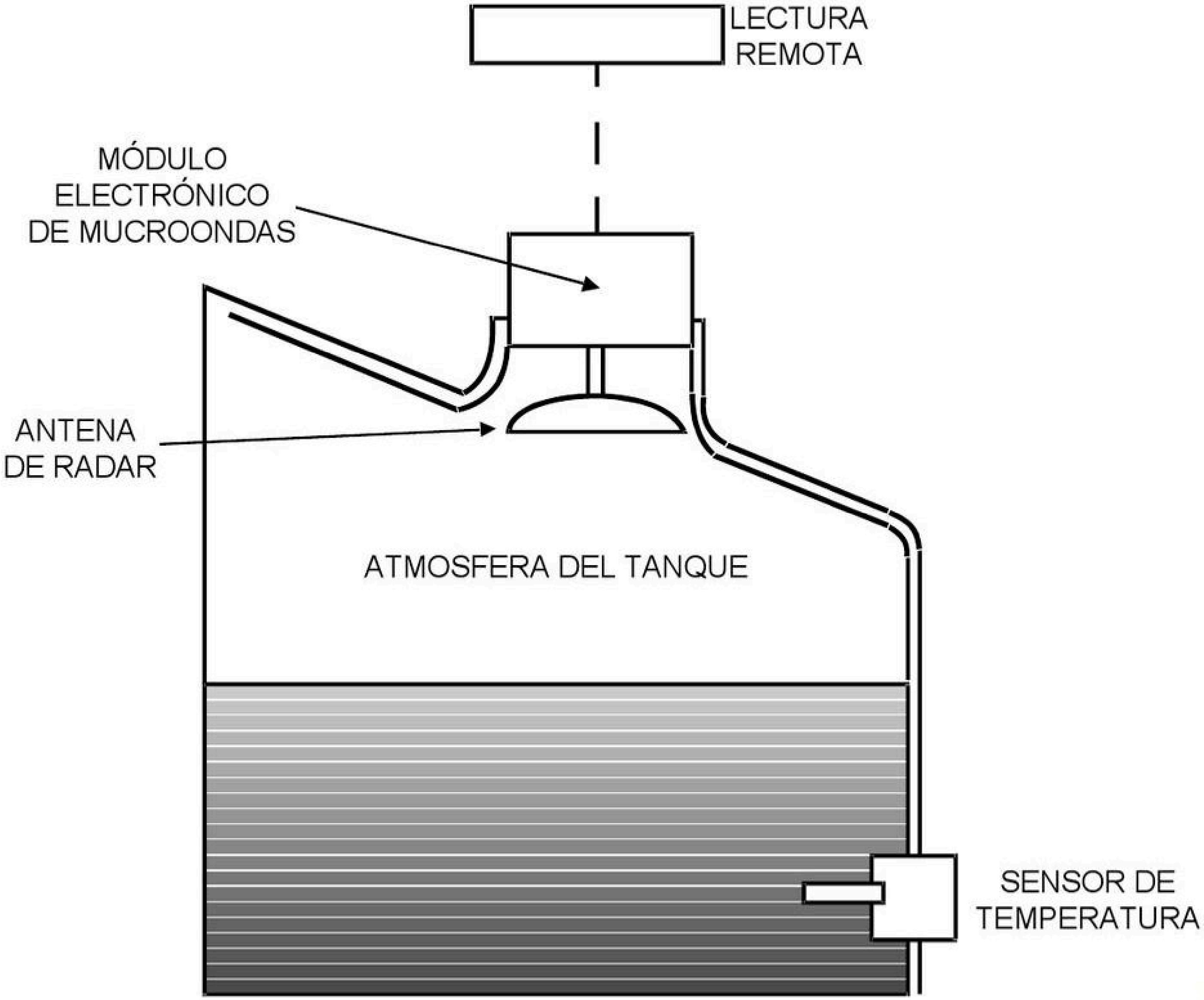
El sistema de medición de nivel radiactivo


Detector
Fuente de radiación

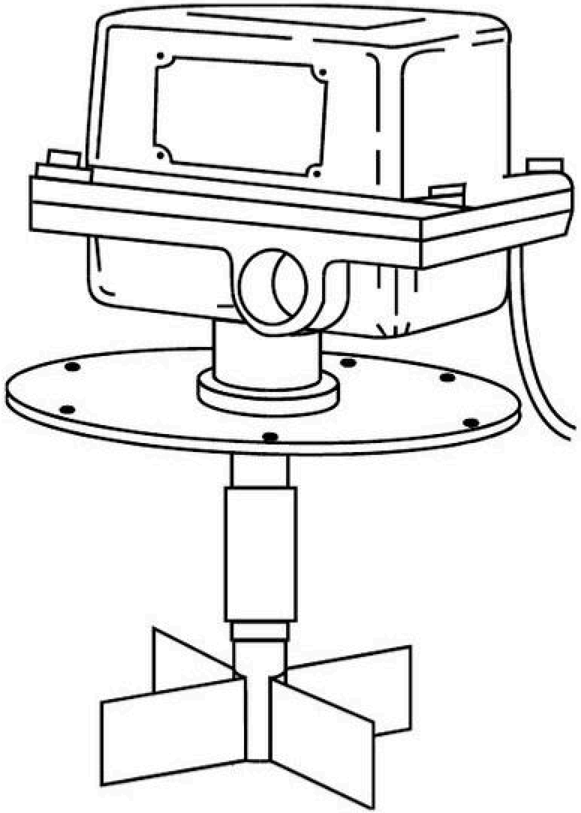
Medidor de nivel Láser

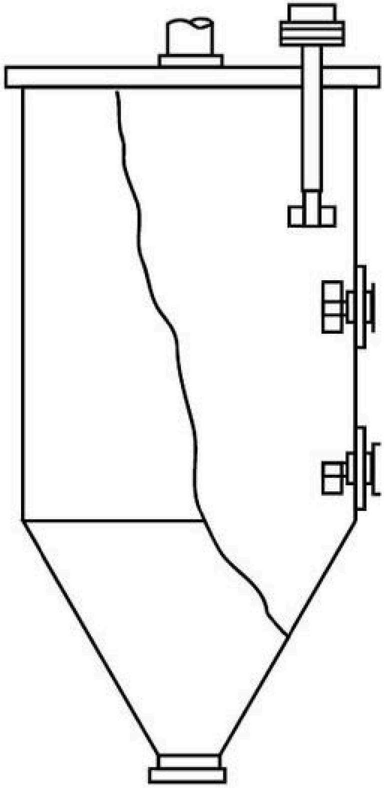
Se utiliza en aplicaciones donde las condiciones son muy duras, y donde los instrumentos de nivel convencionales fallan; tal es el caso de la medición de metal fundido, donde la medida del nivel debe realizarse sin contacto con el líquido y a la mayor distancia posible por existir unas condiciones de calor extremas. El sistema consiste en un rayo láser enviado a través de un tubo de acero y dirigido por reflexión en un espejo sobre la superficie del metal fundido. El aparato mide el tiempo que transcurre entre el impulso emitido y el impulso de retorno que es registrado en un fotodetector de alta resolución, y este tiempo es directamente proporcional a la distancia del aparato emisor a la distancia a la superficie del metal en fusión, es decir, da la lectura del nivel.

Sistema de nivel por radar


LECTURA
REMOTA
MÓDULO
ELECTRÓNICO
DE MUCROONDAS
ANTENA
DE RADAR
ATMOSFERA DEL TANQUE
SENSOR DE
TEMPERATURA

Paletas rotativas





Problemas comunes en la medición de nivel

- Líneas conectadas
- Líquido – espuma
- Líquido – agitación
- Pierna seca/pierna húmeda
- Supresión y elevación de cero
- ¿Otros?

Criterios de selección de los medidores de nivel

La selección depende de algunos aspectos, como los que a continuación se mencionan:

- Condiciones de operación
- Exactitud
- Costo
- Instalación
- Mantenimiento y operación
- Calibración
- Confiabilidad

Características de medidores de nivel

CARACTERÍSTICA	DESPLAZADOR	FLOTADOR	TIPO CINTA	BURBUJEO	D/P CELL	CAPACITANCIA	ADMITANCIA
Exactitud	±0.1% a ±0.3%	±1% a ±3%	±1% a ±2%	±1% del rango	±0.5% a ±2% del span	±0.5% del span	±0.5% del span
Rango recomendable	14" a 48"	1/4" a 14"	1" a 35 ft	Igual a la altura del tanque	4" a 1000" H_2O	6" a 100 ft	1/2 " a 100 ft
Salida	Analógica	Analógica	Analógica o digital	Analógica	Analógica o digital	Analógica o digital	Analógica o digital
Unidad secundaria	Integral	Integral	Requerido	Requerido	Inherente	Inherente	Inherente
Servicios	Líquidos Interfaces	Líquidos	Líquidos	Líquidos	Líquidos Interfaces	Líquidos Interfaces Sólidos	Líquidos Interfaces Sólidos
Temp. max.	-150 a 500 °C	-150 a 500 °C	150 °C	100 °C	300 °C con sello	500 °C	850 °C
Presión max.	200 Kg/cm^2	150 Kg/cm^2	4 Kg/cm^2	Cercana a la atmósferica	100 Kg/cm^2	200 Kg/cm^2	300 Kg/cm^2
Sensitividad	0.75% del rango	± 1 %	± 1 %	De acuerdo al medidor asociado	0.75%	0.1 % del span	0.1 % del span
Suministro de energía	Al transmisor	Al transmisor	Al transmisor	sensor/ transmisor	Al transmisor	sensor/ transmisor	sensor/ transmisor

Setting the Standard for Automation™

INSTRUMENTACIÓN BÁSICA DE PROCESOS INDUSTRIALES

CAPÍTULO 6

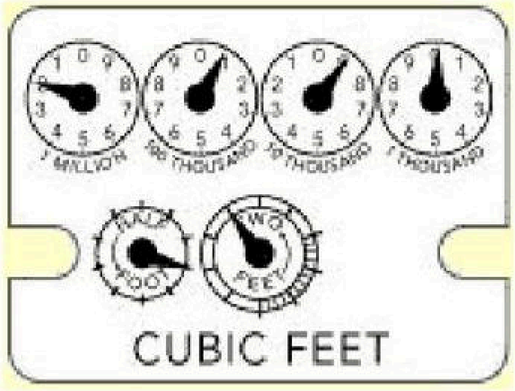
FUNDAMENTOS DE MEDICIÓN DE FLUJO

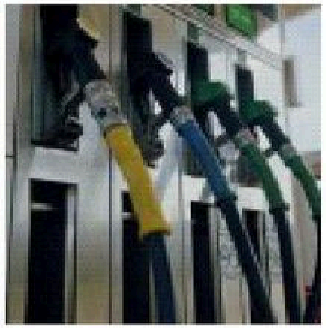
DOCENTE
MARCELO SEPULVEDA ITURRIETA

Importancia de la medición de Flujo

La medición de flujo es importante y algunos ejemplos de aplicación en nuestra vida son para conocer:

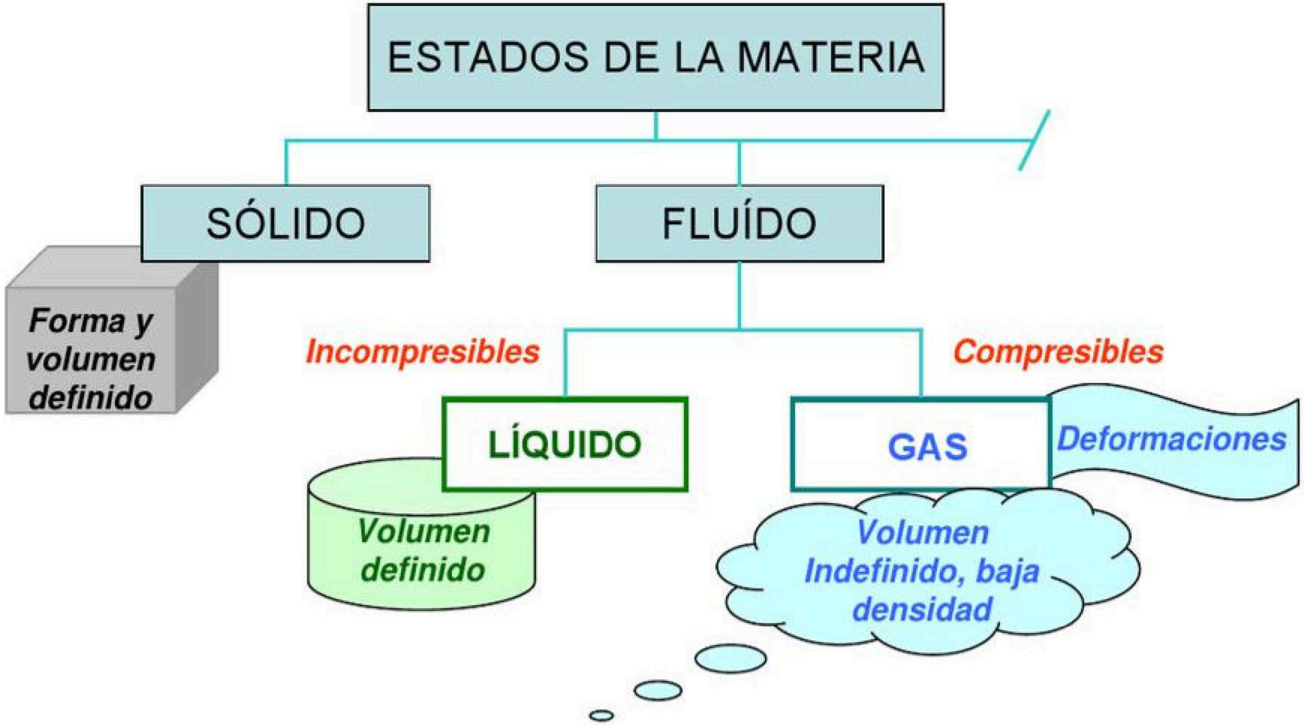
- Consumos de agua potable para uso doméstico e industrial,
- Demanda de Hidrocarburos, como gas natural, gas LP, combustoleo, gasolina,
- La eficiencia de los procesos,
- Balances de materia,
- Excedentes de costos, etc.


1 MILLION
100 THOUSAND
10 THOUSAND
1 THOUSAND
HALF FOOT
TWO FEET
CUBIC FEET



Estados de la materia

La materia se presenta en tres estados: sólido, líquido o gaseoso y en forma básica se tiene que: **un sólido** tiene un volumen y forma definidos; **un líquido** tiene un volumen definido, mas no una forma definida; y **un gas n**o tiene ni volumen ni forma definidos.



ESTADOS DE LA MATERIA

SÓLIDO

FLUÍDO

Forma y volumen definido

Incompresibles

Compresibles

LÍQUIDO

GAS

Deformaciones

Volumen definido

Volumen Indefinido, baja densidad

Fluido

Un fluido es parte de un estado de la materia y se define como un conjunto de moléculas distribuidas al azar que se mantienen unidas por fuerzas cohesivas débiles y por fuerzas ejercidas por las paredes de un recipiente, es decir sin volumen definido.

Los fluidos tienen la capacidad de fluir, de ahí su nombre y se puede decir que tanto líquidos como gases son fluidos. La diferencia básica entre un gas y un líquido es la compresibilidad, así los gases pueden ser comprimidos reduciendo su volumen y los líquidos son prácticamente incompresibles.

La medición de flujo es la medición de materia en movimiento, es decir es la medición de fluidos.

El flujo de materia se puede presentar en más de una fase: sólidos en líquido, gases en líquido, sólidos en gas, líquido en gas, sólidos y gases en líquido, sólidos y líquidos en gas, etc., y todos ellos se consideran fluidos.

Unidades de medida de flujo

U.S.A.	METRICO	S.I.
GPM lbs/hr SCFM	m^3/hr Kg/hr	m^3/hr Kg/hr

• Líquidos	GPM, m^3/hr, lbs/hr
• Gases	SCFH, m^3/hr
• Vapor	lbs/hr, Kg/hr

Tipos de flujo

- Flujo volumétrico.– El volumen de un flujo que pasa por un punto en la tuberia por unidad de tiempo

  $Q = A \times V$

  Donde: Q = Velocidad de flujo volumétrico

  A = Área interna de la tubería

  V = Velocidad promedio de flujo

- Flujo másico.- Peso de un volumen de fluido que fluye por unidad de tiempo.

- Flujo totalizado.- Flujo acumulado o flujo integrado

Propiedades de los fluidos

Densidad

La densidad de un material se define como la masa contenida en la unidad de volumen de un material. Ejemplo: agua = 62.4 lbs/ft3

$$\delta = \frac{m}{v} \quad \left[\frac{Kg}{m^3}\right]$$

Peso específico

Los ingenieros que no han adoptado el SI, utilizan el peso específico o densidad de peso, definido como el peso de la unidad de volumen de una sustancia.

$$PE = \frac{w}{v} = \frac{mg}{v} = g\delta \left[\frac{Kg \cdot f}{m^3}\right] \quad \left[\frac{N}{m^3}\right]$$

Densidad relativa o gravedad específica

Para líquidos, se define como la razón entre la densidad de la sustancia y la densidad del agua a una temperatura determinada. Para gases, es con respecto a la densidad del aire.

$$DR = \frac{PE_{sus\tan cia}}{PE_{agua}} = \frac{g\delta_{sus\tan cia}}{g\delta_{agua}} = \frac{\delta_{sus\tan cia}}{\delta_{agua}}$$

Propiedades de los fluidos

Viscosidad

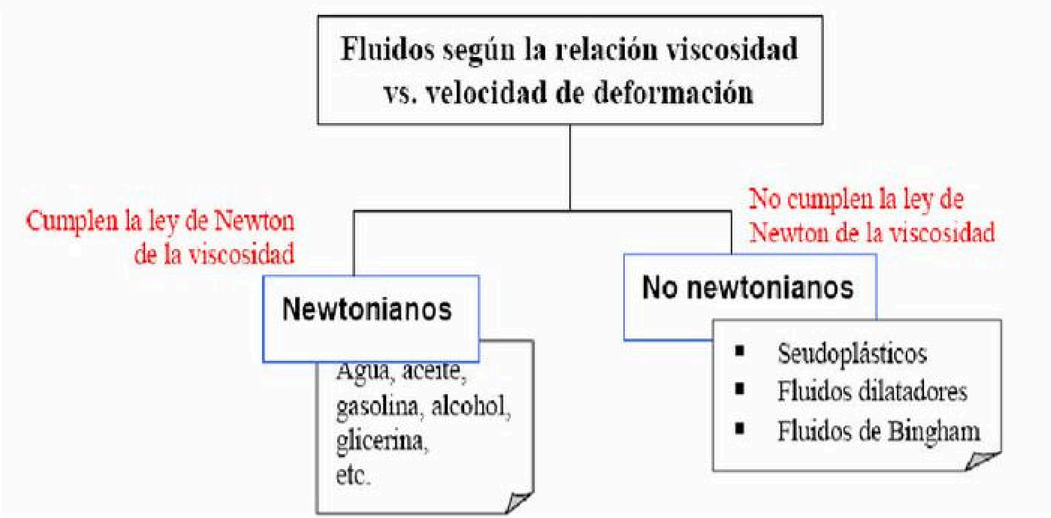
Se define como la resistencia que presentan los fluidos a fluir, es decir que a mayor viscosidad, menor flujo y está afectada por la presión y la temperatura. Es esencial conocerla para la selección de medidores de flujo.

Fluido Newtoniano

Es todo aquel fluido que sigue la Ley de Newton de la viscosidad, es decir que cuando la relación de corte y la velocidad de deformación del fluido es lineal y la viscosidad es función exclusiva de la condición del fluido.

Fluido No Newtoniano

No se comporta conforme la Ley de Newton y la viscosidad de este fluido depende del gradiente de velocidad, además de la condición del fluido..



Fluidos según la relación viscosidad vs. velocidad de deformación

Cumplen la ley de Newton de la viscosidad

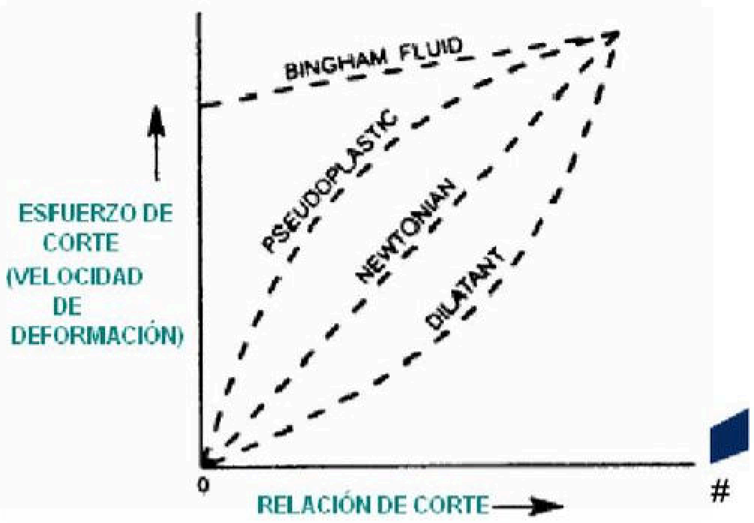
Newtonianos

Agua, aceite, gasolina, alcohol, glicerina, etc.

No cumplen la ley de Newton de la viscosidad

No newtonianos

- Seudoplásticos
- Fluidos dilatadores
- Fluidos de Bingham



Propiedades de los fluidos

Compresibilidad

A cada incremento/decremento de la presión que se ejerce sobre un fluido, le corresponde una contracción/expansión del fluido. Esta deformación o cambio de volumen se llama elasticidad o compresibilidad. Se mide en N/m^{2}.

Ecuaciones de estado de los gases

$$\frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2}$$

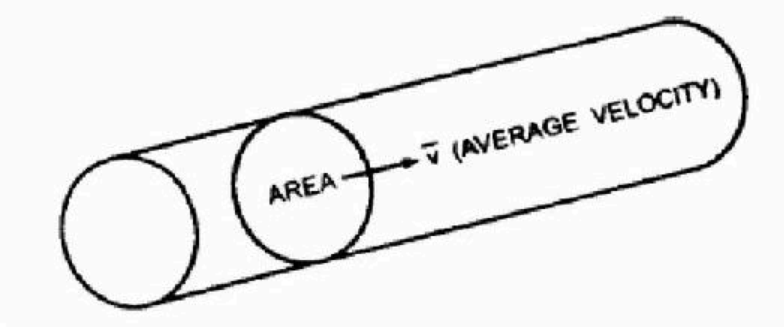
$$P \cdot V = m \cdot R \cdot T$$

$$\rho = \frac{P}{R \cdot T}$$

p: presión
V: Volumen
m: Masa
T: Temperatura absoluta
R: Constante, para aire R=287J/Kg-K
ρ ***: Densidad***

Ecuación de continuidad

La relación de volumen de flujo (Q) que pasa en un punto es igual a la sección transversal normal (A) en ese punto por el promedio de velocidad a través del área (V).



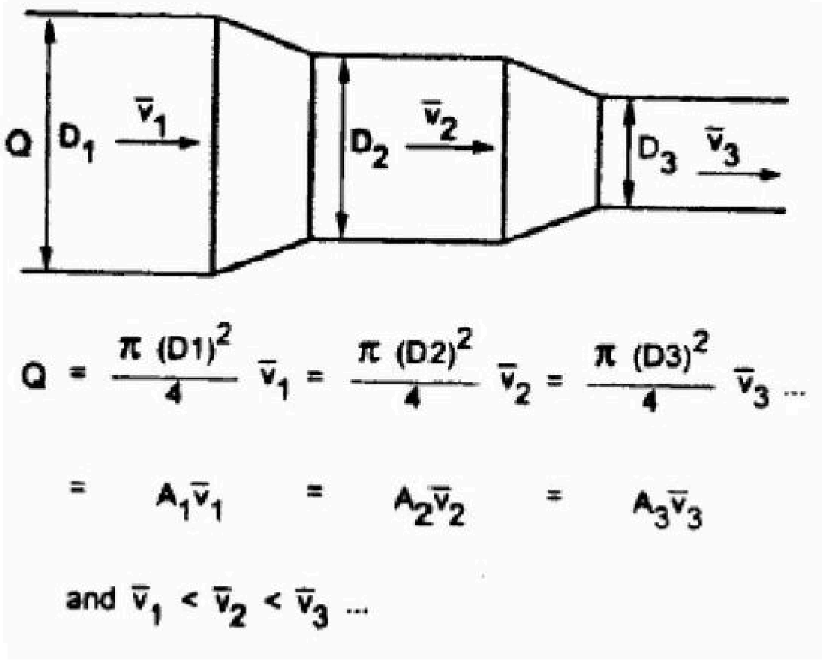
Relación de volumen de flujo = Area x Velocidad promedio

$$Q = A \cdot \overline{V} \qquad \frac{feet^3}{s} = feet^2 \cdot \frac{feet}{s}$$

La velocidad de flujo volumétrico a través de una tubería puede ser calculado multiplicando el área de la tubería por la velocidad promedio en ese punto o localización. Esta es la base de operación de todos los medidores de velocidad de flujo.

Ecuación de continuidad

Si hay un volumen constante de velocidad de flujo para un cambio de área (un cambio de diámetro de tubería) existe un cambio inverso de la velocidad promedio. Esta es la ecuación de continuidad y esta basada en la velocidad promedio a través del área seccional.



$$Q = \frac{\pi\,(D1)^2}{4}\,\bar{v}_1 = \frac{\pi\,(D2)^2}{4}\,\bar{v}_2 = \frac{\pi\,(D3)^2}{4}\,\bar{v}_3 \ldots$$

$$= A_1\bar{v}_1 = A_2\bar{v}_2 = A_3\bar{v}_3$$

and $\bar{v}_1 < \bar{v}_2 < \bar{v}_3 \ldots$

Ecuación de continuidad

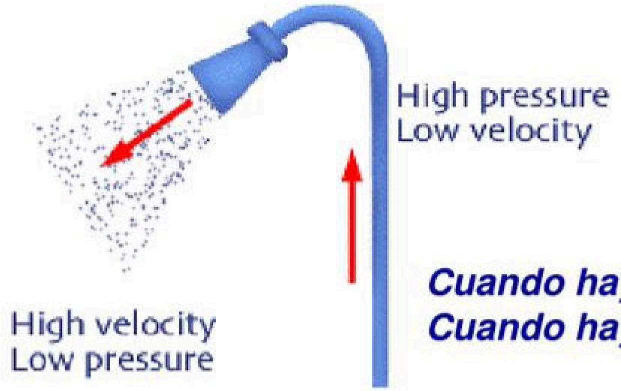
Teorema de Bernoulli

Daniel Bernoulli (1700-1782) comprobó experimentalmente que "la presión interna de un fluido (líquido o gas) decrece en la medida que la velocidad del fluido se incrementa", o dicho de otra forma "*en un fluido en movimiento, la suma de la presión y la velocidad en un punto cualquiera permanece constante*", es decir que **p** + **v** = **k**.

Para que se mantenga constante **k**, si una partícula aumenta su velocidad **v** tendrá que disminuir su presión **p**, y a la inversa. *Como la presión y la velocidad actúan recíprocamente:*

Presión estática + Presión dinámica = Presión total = Constante

Presión estática + 1/2 v^2 = Presión total = Constante

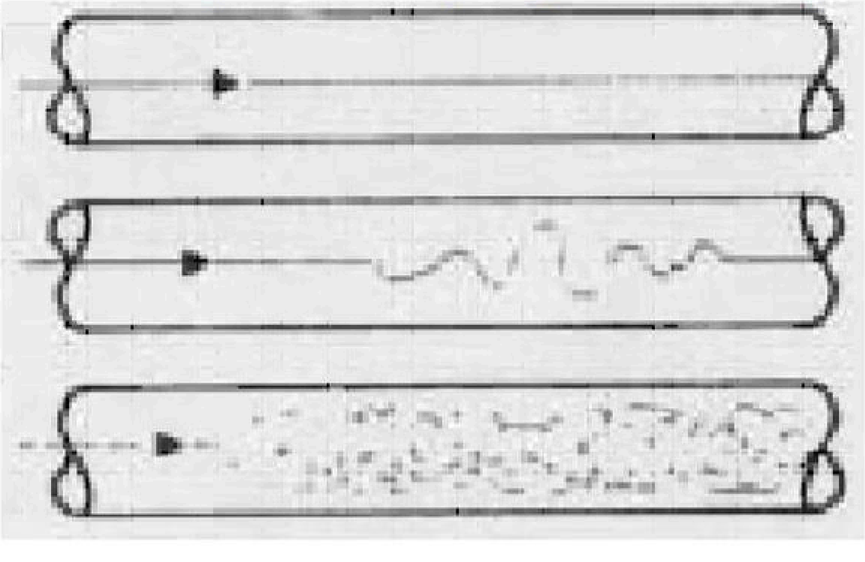


Cuando hay flujo lento en un fluido, la presión aumenta.
Cuando hay un aumento de flujo en un fluido, la presión disminuye.

El número de Reynolds

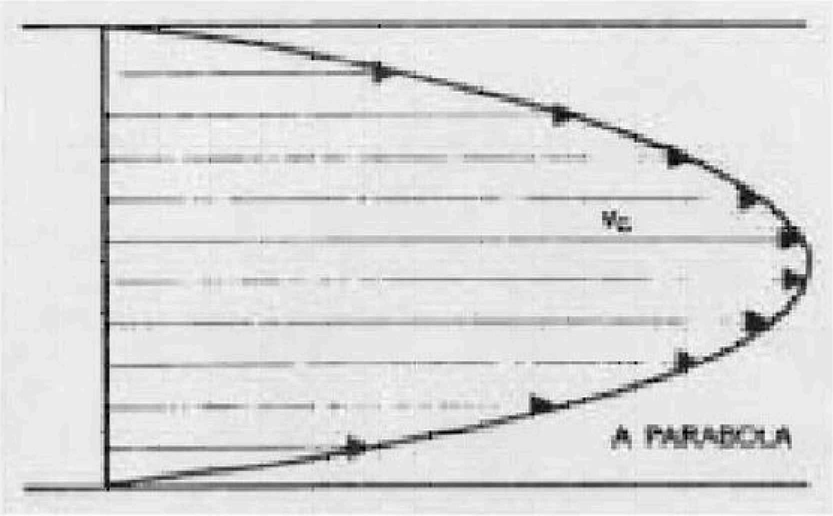
A finales del siglo XIX, Reynolds efectúa un experimento, inyectando tinta en la corriente de un flujo y observa cambios significantes en el movimiento de la tinta. A una velocidad de flujos bajos (alta viscosidad), la tinta traza una línea recta desde el punto de inyección y el la llama flujo directo y ahora se llama flujo laminar debido a que el fluido se esta moviendo como si estas fueran compuestas de laminaciones o placas.

Al incrementa la velocidad, se alcanza la condición donde la tinta inicia como una línea recta, pero empezando a generar inestabilidad y al aumentar la velocidad se genera una inmediata dispersión de la tinta a través de la corriente de flujo, llamando a este flujo sinuoso y hoy se llama flujo turbulento.



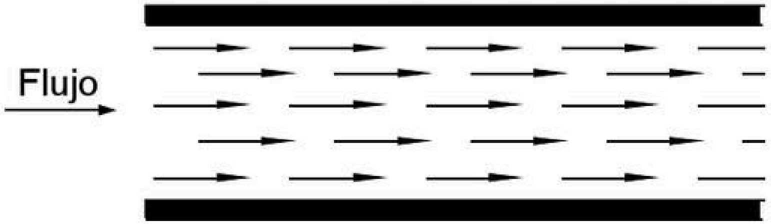
El número de Reynolds

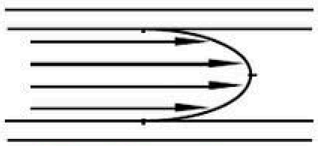
En el trabajo de Reynolds se demostró que en el flujo laminar, el comportamiento del fluido esta dominado por las fuerzas viscosas (fricción interna del fluido) y un análisis de las velocidades locales a través de la tubería definen un perfil parabólico con una velocidad al centro de la tubería, que es dos veces la velocidad promedio.



El número de Reynolds

En el flujo turbulento, las fuerzas dinámicas dominan el comportamiento del fluido que provocan la dispersión de la tinta. El perfil es cuadrado y cambia con el cambio de velocidad del fluido y de la viscosidad

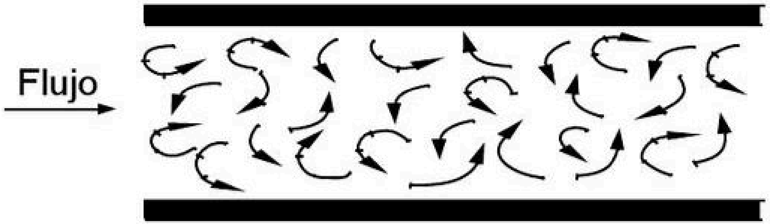


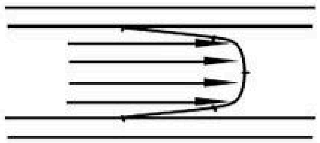


Flujo Laminar

Flujo Laminar

El número de Reynolds es menor de 2000

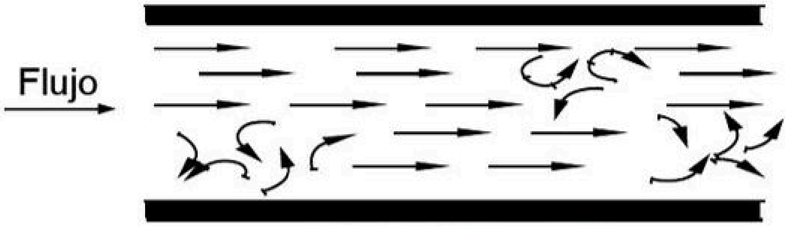




Flujo Turbulento

Flujo Turbulento

El número de Reynolds es mayor de 4000



Flujo de Transición

El número de Reynolds esta entre 2000 y 4000

El número de Reynolds

Existe una zona de inestabilidad conocida como régimen de transición donde el flujo puede comportarse como laminar o turbulento.
El régimen de flujo laminar, turbulento o de transición está definido por el número de Reynolds (Re número adimensional):

$$Re = \rho \nu D / \mu$$

$$Re_D = 3160\ Q_{gpm}\ G \ /\ \mu_{cP}\ D_{in}$$

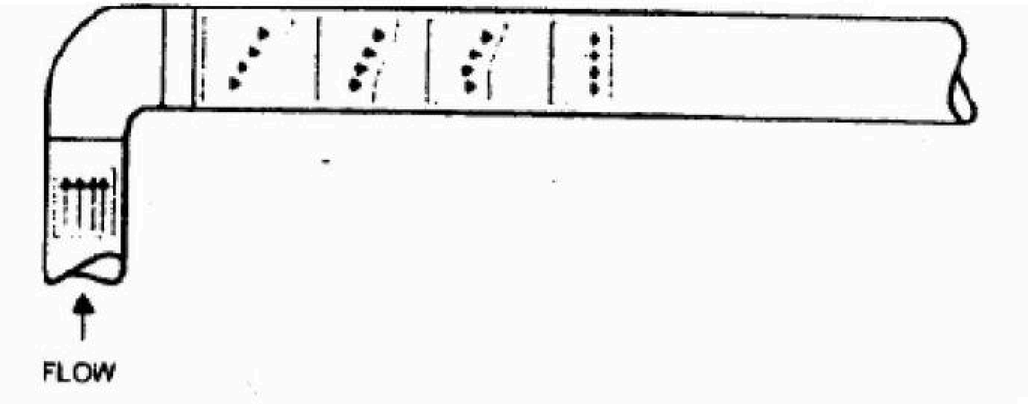
Donde :

Re = Número de Reynolds
Re_D = Número de Reynolds en la Tubería
ρ = Densidad del fluido.
D = Dimensional
ν = Velocidad promedio del fluido.
μ = Viscosidad absoluta del fluido.
Q_{gpm} = Velocidad de flujo volumétrico
G = Gravedad especifica referida al agua a 4 °C
D_{in} = Diámetro Interno de la Tubería el Pulgadas
μ_{cP} = Viscosidad del fluido en Cp.

Si $Re \geq 4000$ el perfil es cuadrado hacia arriba y el flujo es turbulento.
Si $Re \leq 2000$ el perfil es parabólico y el flujo es laminar.
Si $2000 \geq Re \leq 4000$, el flujo es de transición

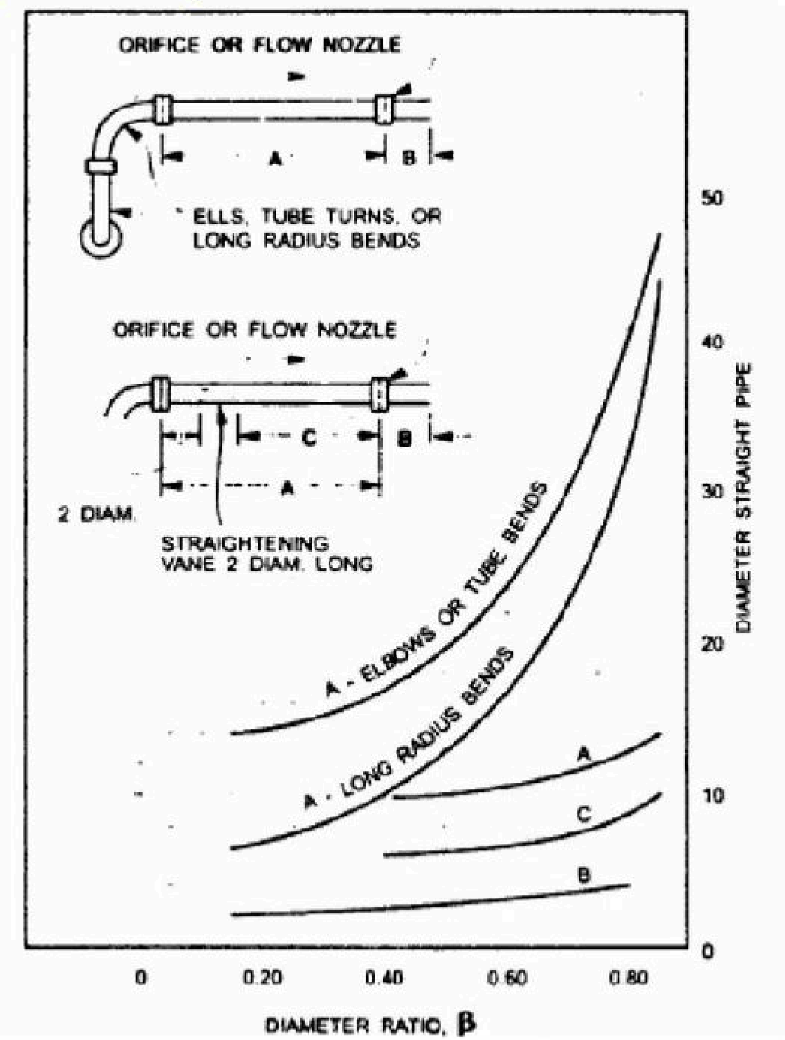
Perfil de flujo y efectos de tubería

Los cálculos del número de Reynolds son válidos para perfiles simétricos. Sin embargo, como el flujo se mueve a través de una tubería, los perfiles se distorsionan o son asimétricos. Un simple codo de 90º, distorsiona el perfil de flujo. Como el flujo se mueve a través del codo, se acelera alrededor y hacia fuera de la curva y disminuye su velocidad dentro de la curva. El perfil se distorsiona con una zona de alta velocidad ocurriendo al otro lado de la línea de centro de la tubería.



Perfil de flujo y efectos de tubería

Existen algunas recomendaciones de ASME para tubería corriente arriba y corriente abajo para el caso de orificios o toberas de flujo después de un disturbio específico. Gráficas similares pueden existir para otro tipos de medidores.



Acondicionamiento del perfil de flujo

Idealmente el perfil de flujo lo define el Número de Reynolds y la condición de la pared interna de la tubería (rugosidad). El perfil puede ser restablecido por acondicionadores de flujo, aunque se deben de utilizar con discreción y sumo cuidado.

Aunque la mayor parte de los acondicionadores de flujo como Sprenkle, Zanker, Mitsubishi y Vortab son efectivos en la eliminación de perfiles de flujo distorsionado, chorros y remolinos persistentes, su principal desventaja es que tienen pérdida de cabeza.

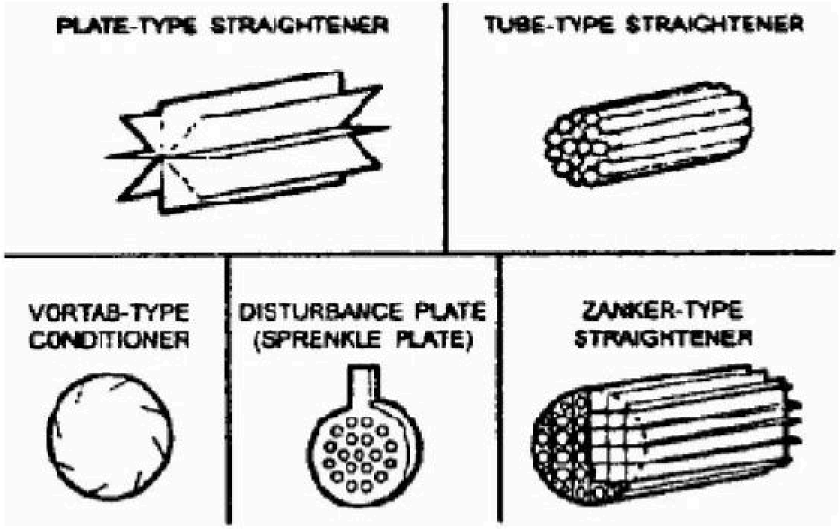
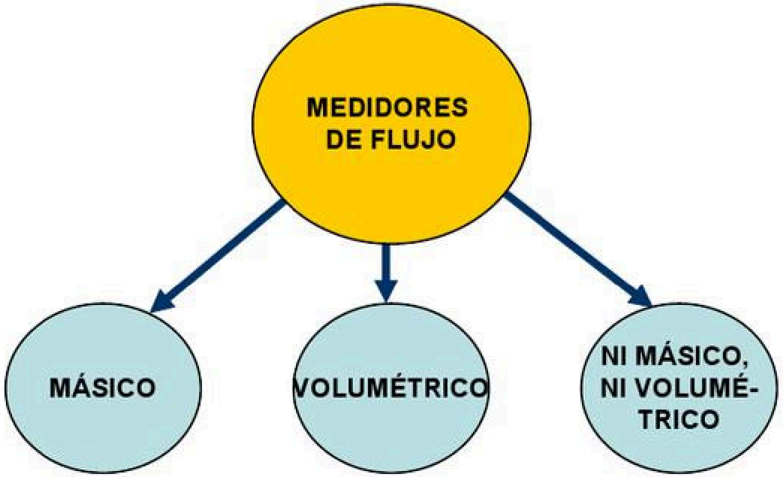


PLATE-TYPE STRAIGHTENER
TUBE-TYPE STRAIGHTENER
VORTAB-TYPE CONDITIONER
DISTURBANCE PLATE (SPRENKLE PLATE)
ZANKER-TYPE STRAIGHTENER

ACONDICIONADOR DE FLUJO	PÉRDIDA DE CABEZAL RELATIVO (4 es el más alto)
Mitsubishi	2
Sprenkle	4
VORTAB	1
Zanker	3

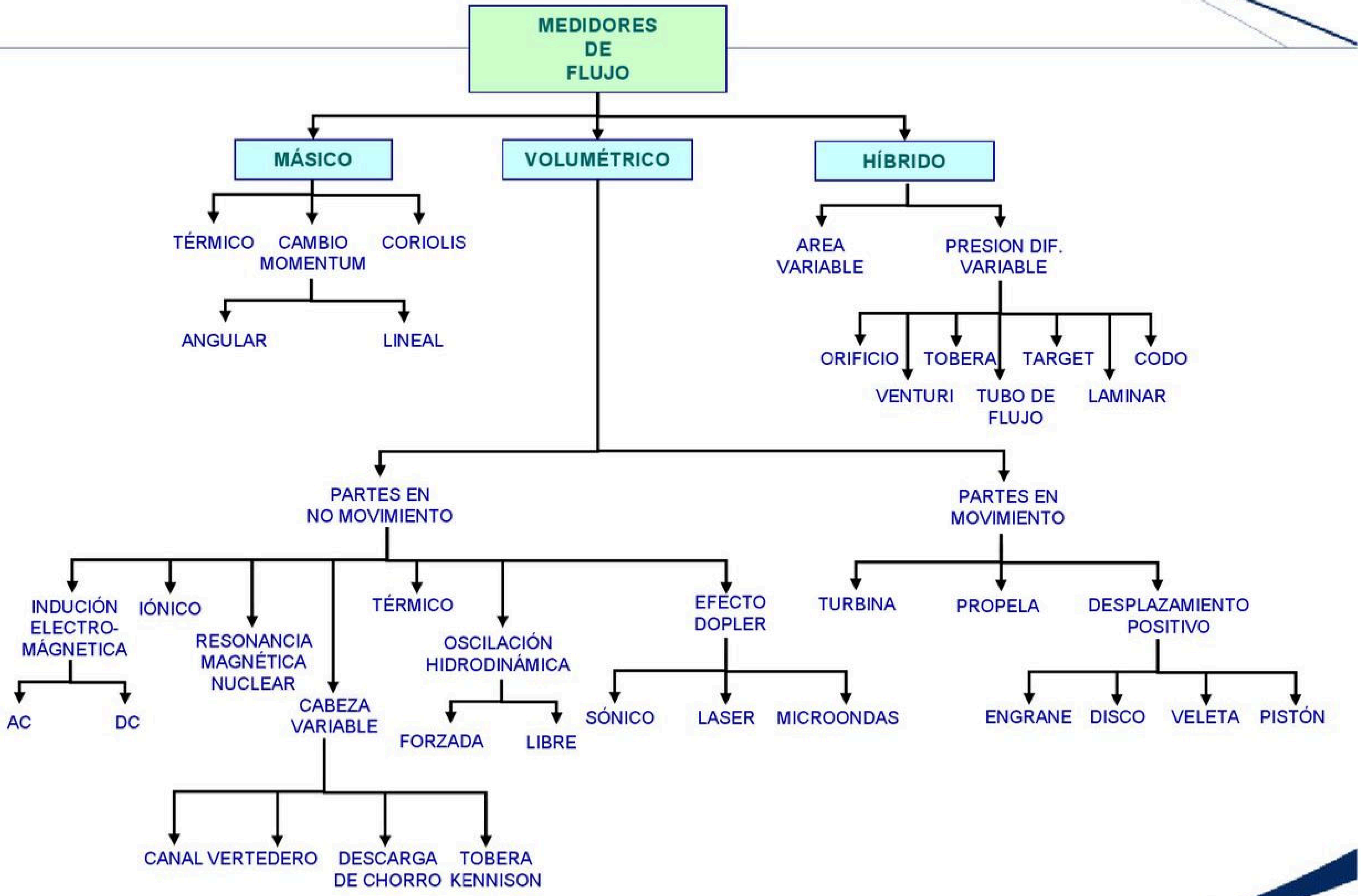
Tipos de medidores de flujo


MEDIDORES DE FLUJO
MÁSICO
VOLUMÉTRICO
NI MÁSICO, NI VOLUMÉ- TRICO

Clasificación de Medición de Flujo de Fluidos
Flujo Másico
Flujo Volumétrico
Másico inferido (Densidad constante)
Másico calculado (medición de densidad)
Flujo de sólidos disueltos/suspendidos - Inferidos, concentración constante - Calculados, concentración médida

Unidades de flujo de medición comúnmente usadas		
Líquidos	**Gases**	**Vapor**
Volumen actual	Volumen actual	Gravimétrica (másico)
Gravimétrica (másico)	Gravimétrica (másico)	
Volumen a temperatura base	Volumen a condiciones estándares	

Clasificación de medidores de flujo



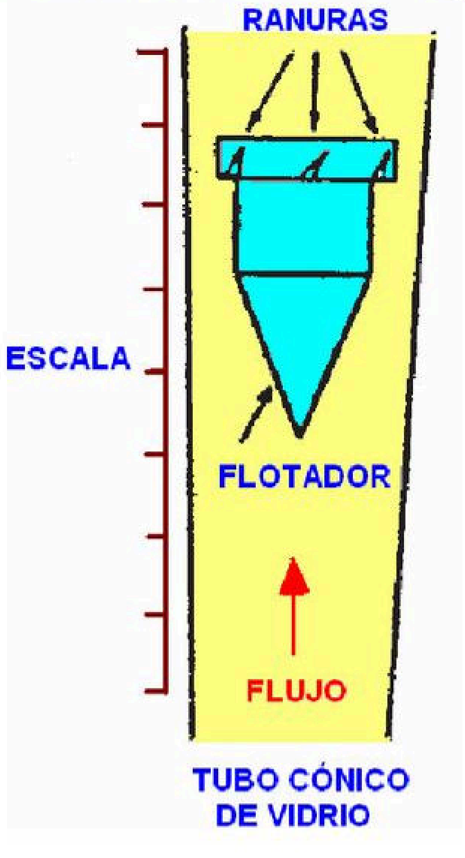
- **MEDIDORES DE FLUJO**
  - **MÁSICO**
    - TÉRMICO
    - CAMBIO MOMENTUM
      - ANGULAR
      - LINEAL
    - CORIOLIS
  - **VOLUMÉTRICO**
    - PARTES EN NO MOVIMIENTO
      - INDUCIÓN ELECTRO-MÁGNETICA
        - AC
        - DC
      - IÓNICO
      - RESONANCIA MAGNÉTICA NUCLEAR
      - CABEZA VARIABLE
        - CANAL
        - VERTEDERO
        - DESCARGA DE CHORRO
        - TOBERA KENNISON
      - TÉRMICO
      - OSCILACIÓN HIDRODINÁMICA
        - FORZADA
        - LIBRE
      - EFECTO DOPLER
        - SÓNICO
        - LASER
        - MICROONDAS
    - PARTES EN MOVIMIENTO
      - TURBINA
      - PROPELA
      - DESPLAZAMIENTO POSITIVO
        - ENGRANE
        - DISCO
        - VELETA
        - PISTÓN
  - **HÍBRIDO**
    - AREA VARIABLE
    - PRESION DIF. VARIABLE
      - ORIFICIO
      - VENTURI
      - TOBERA
      - TUBO DE FLUJO
      - TARGET
      - LAMINAR
      - CODO

Medidor de flujo tipo área variable

Los medidores de área variable, también llamados rotámetros, utilizan el mismo principio que los medidores de flujo del tipo presión diferencial; esto es, la relación entre la energía cinética y la energía de presión de un sistema.

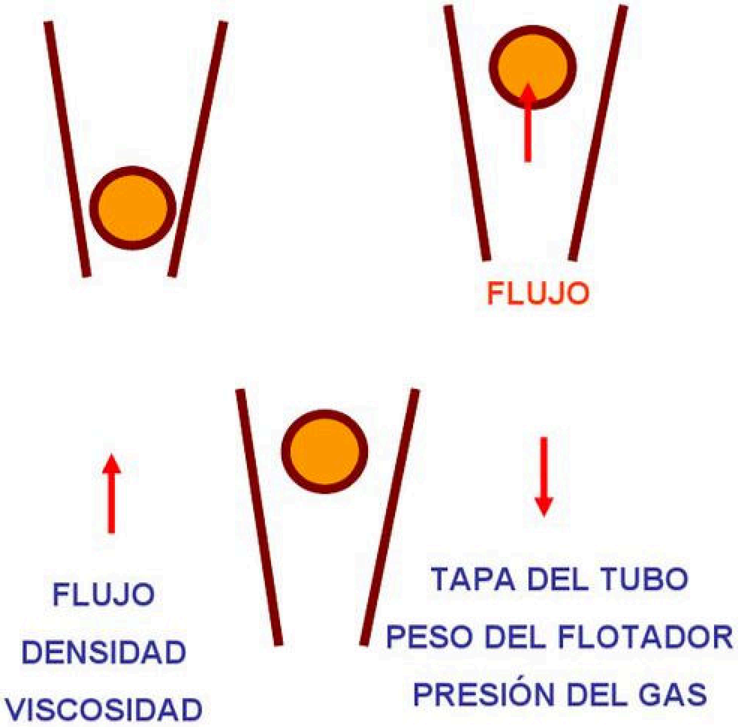
En un dispositivo de presión diferencial, el tamaño de la restricción es fija y la diferencial de presión cambia con respecto a la velocidad del flujo. En los medidores de área variable, el área de restricción cambia cuando el flujo cambia y la presión diferencial permanece constante.

El rotámetro consiste de un tubo de medición cónico y un flotador. El fluido circula en forma ascendente por el tubo desplazando al flotador que normalmente lleva unas ranuras que dan lugar a que el flotador gire, proporcionando estabilidad y efectos de centrado. Esta rotación es la que le da el nombre de rotámetro. El rotámetro puede contener una válvula manual para establecer flujos pequeños, y también puede ser utilizado como un indicador, transmisor o un controlador de campo.



Funcionamiento del Rotámetro

Cuando no existe flujo, el flotador descansa en la parte baja del tubo, y al pasar el flujo, hace ascender el flotador hasta que alcanza un equilibrio y la altura del flotador es una indicación del flujo que esta pasando. El cambiar la forma o la densidad del flotador permite al mismo tubo medir sobre diferentes rangos.

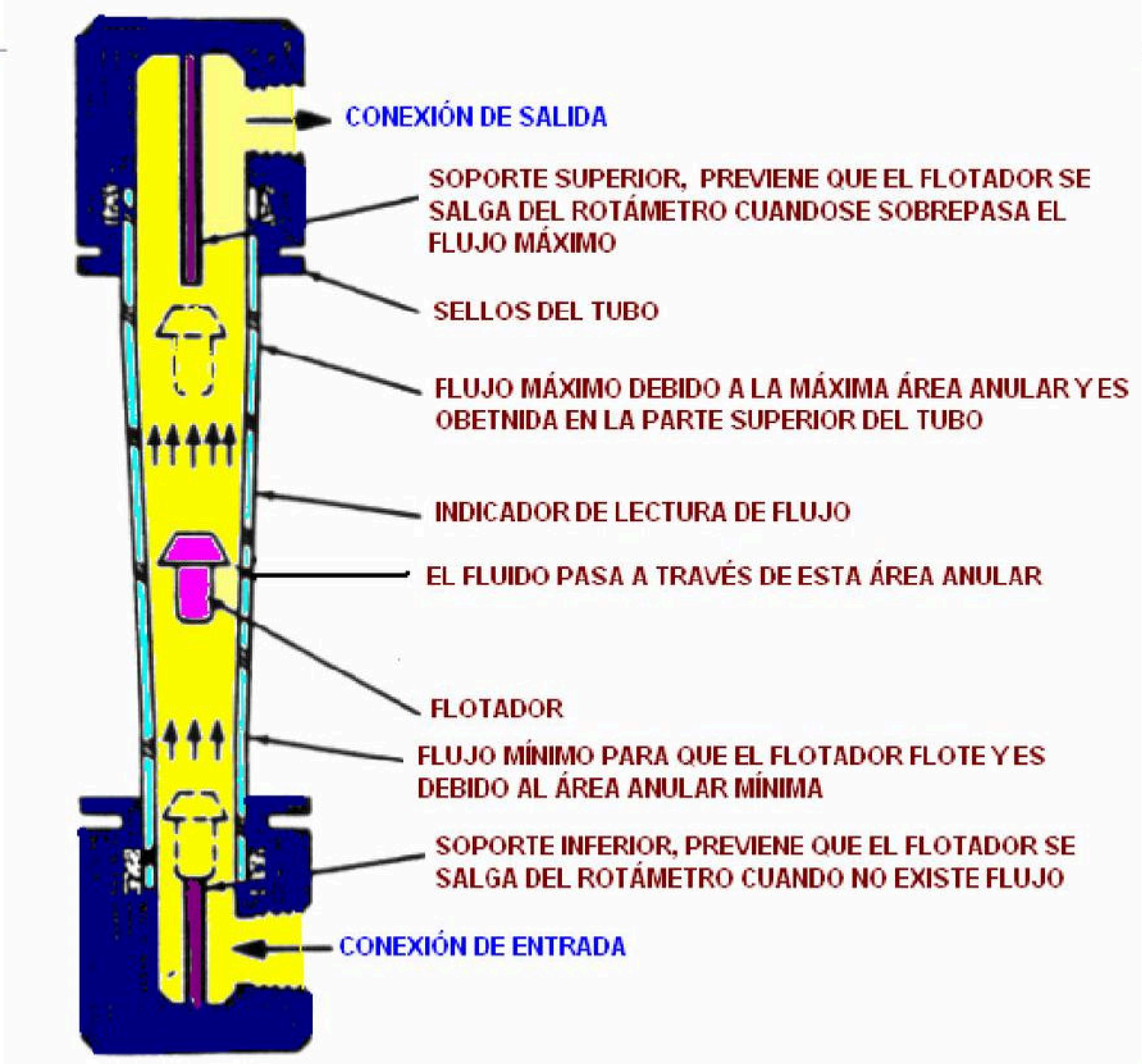


FLUJO

FLUJO
DENSIDAD
VISCOSIDAD

TAPA DEL TUBO
PESO DEL FLOTADOR
PRESIÓN DEL GAS

Funcionamiento del Rotámetro



CONEXIÓN DE SALIDA

SOPORTE SUPERIOR, PREVIENE QUE EL FLOTADOR SE SALGA DEL ROTÁMETRO CUANDOSE SOBREPASA EL FLUJO MÁXIMO

SELLOS DEL TUBO

FLUJO MÁXIMO DEBIDO A LA MÁXIMA ÁREA ANULAR Y ES OBETNIDA EN LA PARTE SUPERIOR DEL TUBO

INDICADOR DE LECTURA DE FLUJO

EL FLUIDO PASA A TRAVÉS DE ESTA ÁREA ANULAR

FLOTADOR

FLUJO MÍNIMO PARA QUE EL FLOTADOR FLOTE Y ES DEBIDO AL ÁREA ANULAR MÍNIMA

SOPORTE INFERIOR, PREVIENE QUE EL FLOTADOR SE SALGA DEL ROTÁMETRO CUANDO NO EXISTE FLUJO

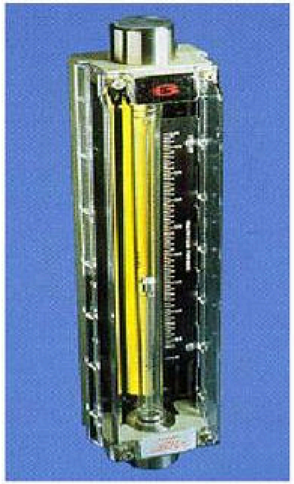
CONEXIÓN DE ENTRADA

El tubo del rotámetro

El material del tubo puede ser de vidrio, metal y en algunos casos de plástico.

El tubo de vidrio es utilizado para temperaturas de 33 a 250 °F, no se utiliza en servicios de vapor, con tamañosde hasta 2”. Su mayor desventaja es que el tubo puede romperse.

El tubo metálico se utiliza en mas aplicaciones, de muy altas presiones (hasta 6000 psig), muy altas y muy bajas temperaturas (de criogenicas hasta 1000 °F) y puede ser fabricado de aleaciones especales.



Su escala de lectura es lineal 0-100% y normalmente requiere tablas de conversión o factores de lectura.

Ventajas y limitaciones de un MF de área variable

VENTAJAS	LIMITACIONES
Bajo costo	No es apropiado para altas presiones
Simple	Capacidad máxima de flujo limitada
Relativamente inmune a los arreglos de tubería cercanos	Las unidades en algunos casos son voluminosas
Baja caída de presión constante	El costo se incrementa considerablemente con operaciones extras (corazas de protecciones o montaje en tablero)
Rango de flujo 10:1	Transmisión no disponible como standard
Ningún tipo de suministro requerido	Las incrustaciones de suciedad pueden volver difícil la lectura
	Sólo manejan fluidos limpios

Medidor de flujo tipo presión diferencial

Este tipo de medidores cambia la velocidad o dirección, provocando una presión diferencial o "cabezal de presión" en el fluido.

Entre los primeros tipos de medidores de presión diferencial se pueden destacar los siguientes:

- Placas de orificio.
- Toberas de flujo.
- Tubo Dall
- Tubos Venturi.
- Tubos Pitot.
- Tubos Annubar.
- Codos.

Se estima que actualmente al menos el 75 % de los medidores industriales en uso son dispositivos de presión diferencial, siendo el más popular la placa de orificio.

Ventajas de los MF tipo presión diferencial

Las principales ventajas de dichos medidores son:

- Su sencillez de construcción.
- No incluye partes móviles.
- Su funcionamiento se comprende con facilidad.
- No son caros, particularmente si se instalan en grandes tuberías y se comparan con otros medidores.
- Pueden utilizarse para la mayoría de los fluidos.
- Hay abundante información sobre sus diferentes usos.

Desventajas de los MF tipo presión diferencial

Sus principales desventajas son:

- La amplitud del rango de medida es menor que para la mayoría de los otros medidores.

- Puede producir pérdidas de carga significativas, es decir provocan una caída de presión alta.

- La señal de salida no es lineal con el flujo.

- Deben de respetarse tramos rectos de tubería corriente arriba y corriente abajo del medidor que, según la localización de la tubería y los accesorios existentes, pueden llegar a ser grandes.

- Pueden producirse efectos de envejecimiento, es decir, acumulación de depósitos o la erosión de las aristas vivas.

- La precisión suele ser menor que la de medidores más modernos, especialmente si, como es habitual, el medidor se entrega sin calibrar.

Placa de orificio

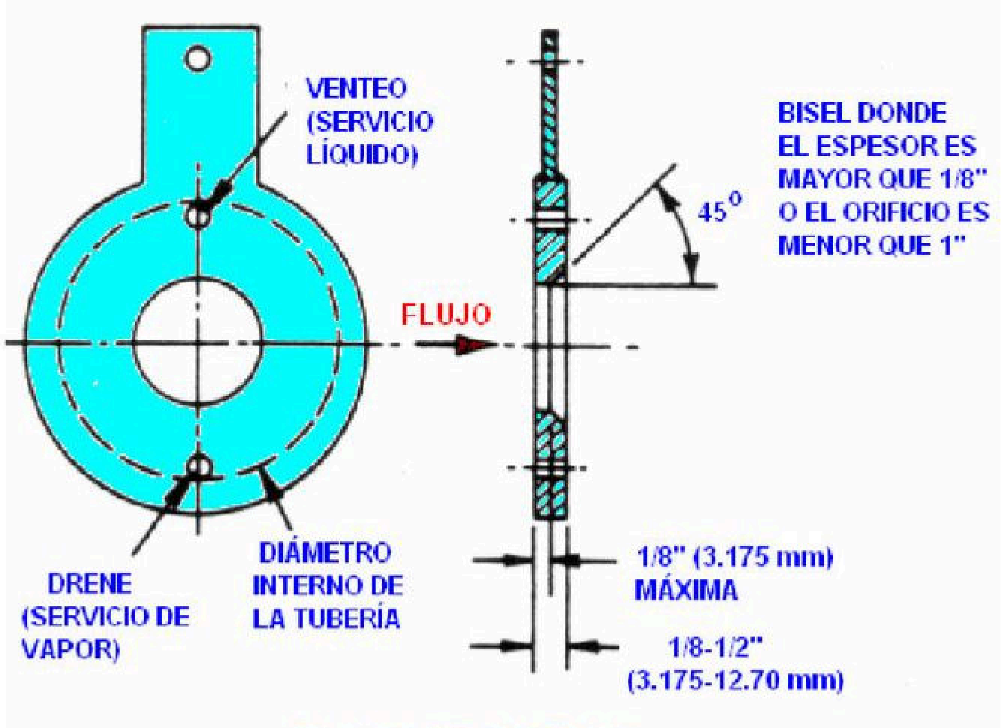
La placa de orificio es el dispositivo de medición de flujo más comúnmente usado, cuyas características son.

✓Máxima pérdida de presión permanente.
✓Más fácil de instalar.
✓Fácilmente reproducible.
✓Requiere inspección periódica.
✓Es el de más bajo costo.
✓Es el dispositivo más conocido.

Este dispositivo mide flujos de líquidos, gases y vapores bajo un amplio rango de condiciones, y consiste básicamente de una placa circular perforada, la cual se inserta en la tubería y presenta una restricción al paso del flujo, lo que general una presión diferencial en el sistema, la que se mide, y resulta ser proporcional a la magnitud del flujo.

Placas de orificio concéntrico

La placa de orificio mas común es un disco circular concéntrico, normalmente de acero inoxidable, donde el tamaño del orificio y espesor dependen del tamaño de la tubería y velocidad de flujo. El tipo concéntrico se utiliza cuando el fluido es limpio. Cuando el fluido a medir en un líquido con gases ó cuando es un gas o un vapor con líquido, la placa tiene un pequeño orificio en la parte superior o inferior respectivamente.

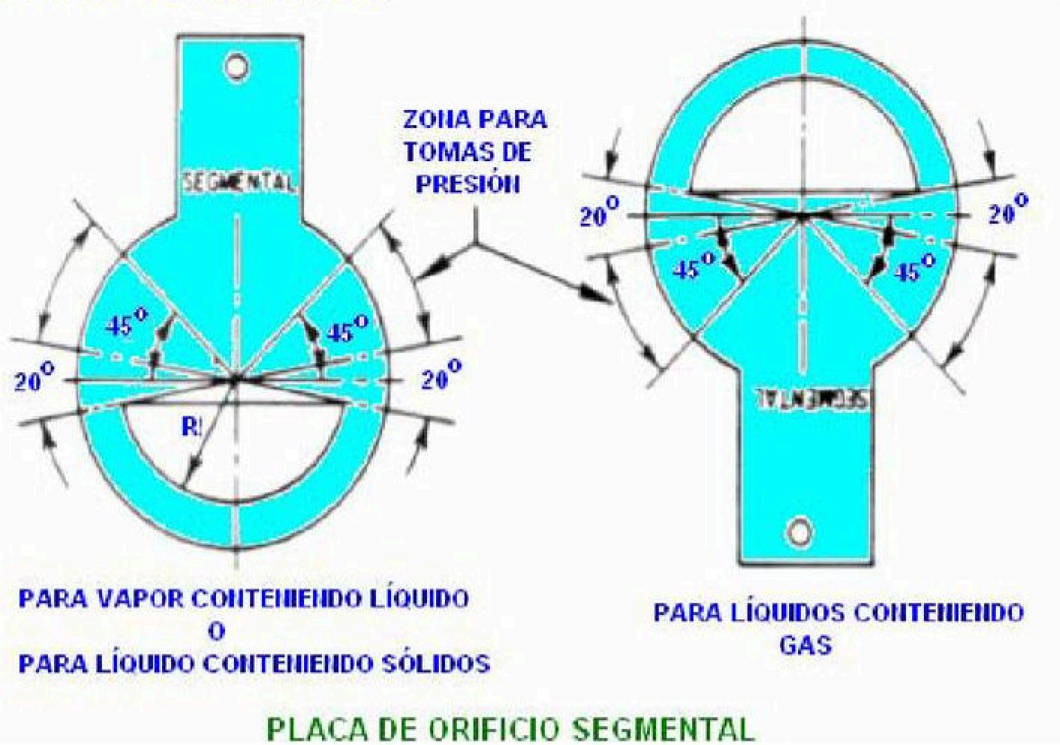

VENTEO (SERVICIO LÍQUIDO)
BISEL DONDE EL ESPESOR ES MAYOR QUE 1/8" O EL ORIFICIO ES MENOR QUE 1"
45°
FLUJO
DRENE (SERVICIO DE VAPOR)
DIÁMETRO INTERNO DE LA TUBERÍA
1/8" (3.175 mm) MÁXIMA
1/8-1/2" (3.175-12.70 mm)

PLACA DE ORIFICIO CONCÉNTRICA

Placa de orificio segmentado

Existen otros dos tipos de orificios: el orificio segmentado y el orificio excéntrico.

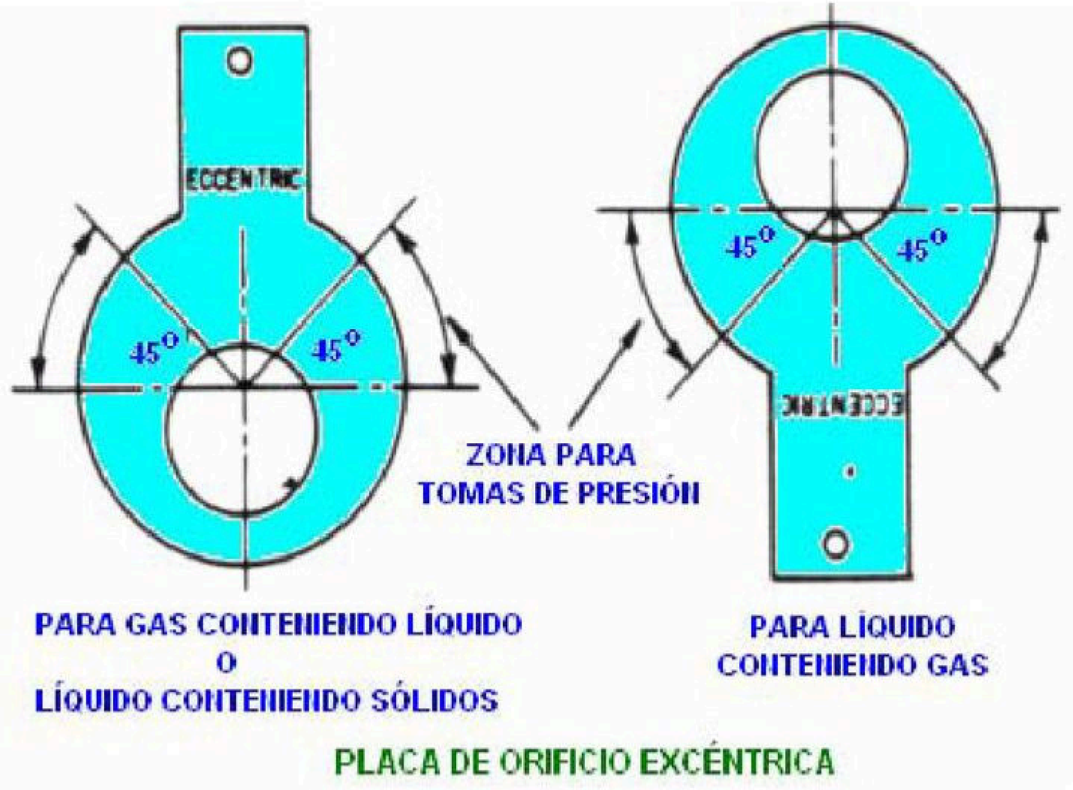
El área del orificio segmentado es equivalente al área del orificio concéntrico. Se usa cuando se requiere eliminar el estancamiento de materiales extraños, instalándose con la secante horizontal y con su sección curva coincidiendo con la superficie inferior de la tubería. Es muy usada para medir vapor húmedo, líquidos con sólidos en suspensión o aceites con agua cuando la medición se hace en tubería horizontal. Cuando el orificio se puede localizar verticalmente, debe cambiarse a orificio concéntrico.


SEGMENTAL
ZONA PARA TOMAS DE PRESIÓN
45°
45°
20°
20°
R
20°
20°
45°
45°
SEGMENTAL
PARA VAPOR CONTENIENDO LÍQUIDO O PARA LÍQUIDO CONTENIENDO SÓLIDOS
PARA LÍQUIDOS CONTENIENDO GAS

PLACA DE ORIFICIO SEGMENTAL

Placa de orificio excéntrico

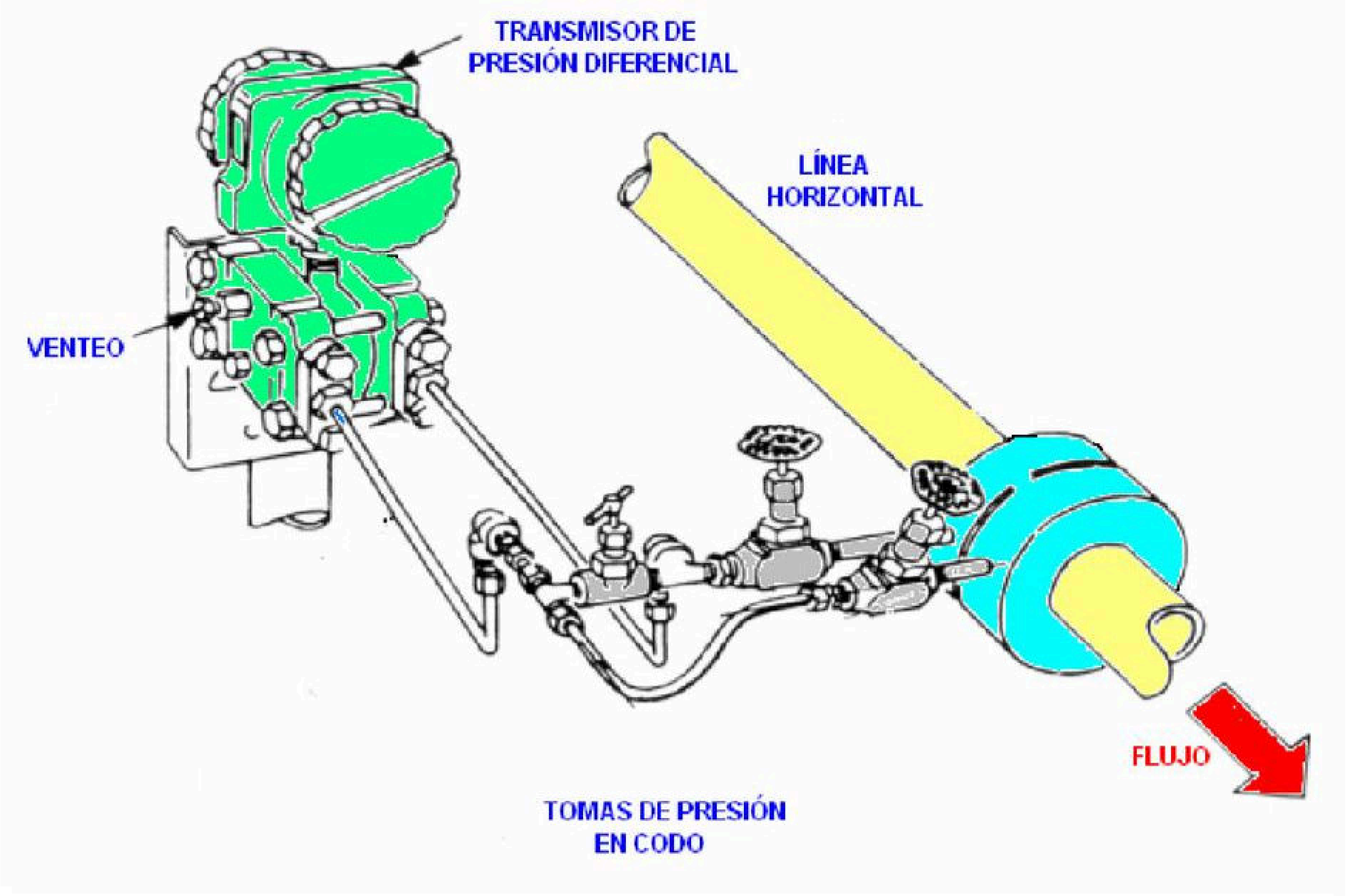
En el orificio excéntrico, el orificio es tangente a la superficie superior de la tubería cuando el fluido es un gas, y tangente a la superficie inferior cuando es un líquido. Esta placa tiene las mismas ventajas que la segmentada.
El área del orificio segmentado en equivalente al área del orificio excéntrica.


ECCENTRIC
45°
45°
ZONA PARA TOMAS DE PRESIÓN
45°
45°
ECCENTRIC
PARA GAS CONTENIENDO LÍQUIDO O LÍQUIDO CONTENIENDO SÓLIDOS
PARA LÍQUIDO CONTENIENDO GAS

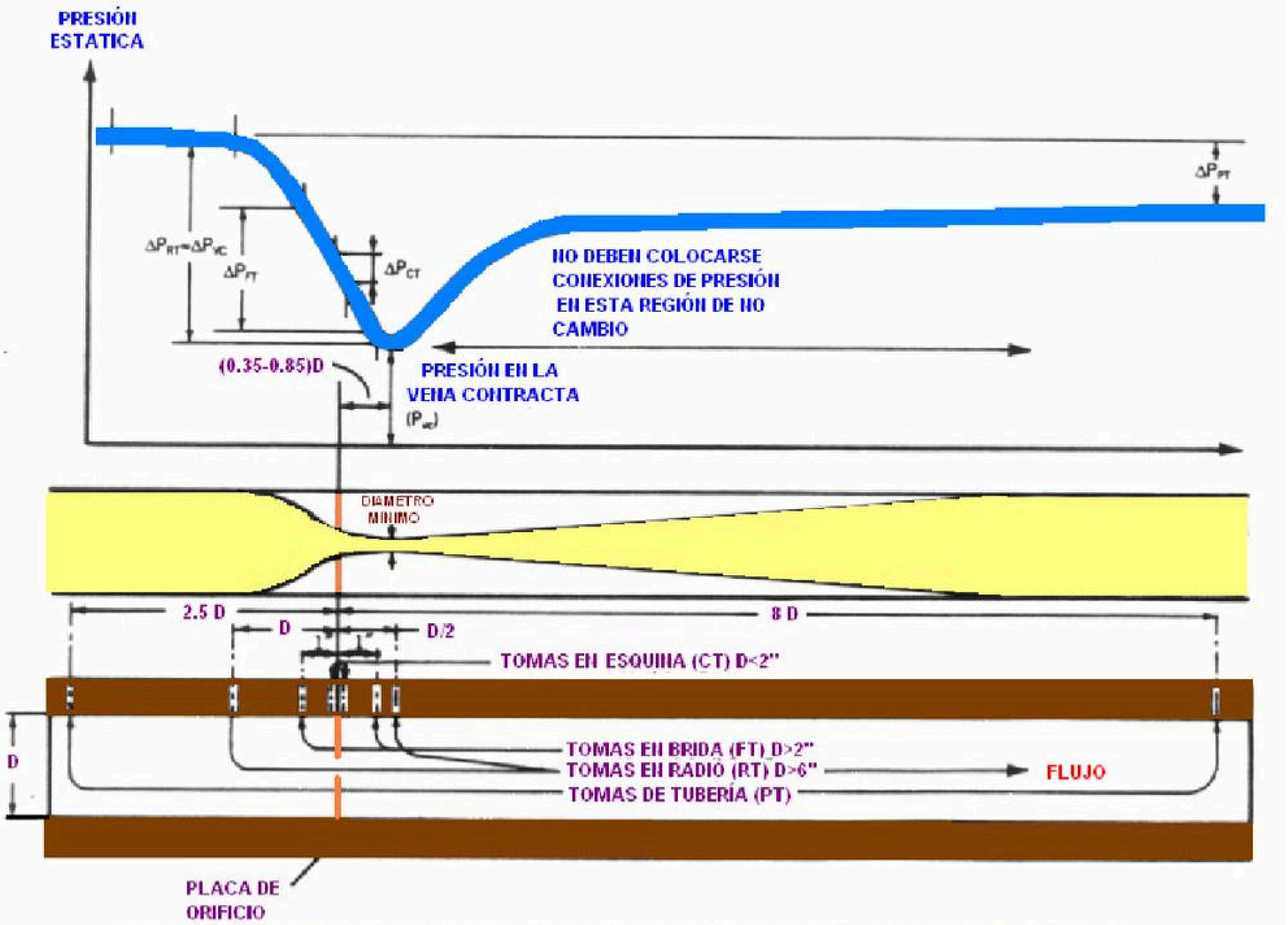
PLACA DE ORIFICIO EXCÉNTRICA

Tomas en la placa de orificio

Para medir la presión diferencial que origina la placa de orificio, se conectan dos tomas, una en la parte anterior y otra en la parte posterior de la placa. La disposición de las tomas, puede ser: en las bridas, en la vena contraída y en la tubería.


TRANSMISOR DE PRESIÓN DIFERENCIAL
LÍNEA HORIZONTAL
VENTEO
FLUJO
TOMAS DE PRESIÓN EN CODO

Perfil de presión de las placas de orificio


PRESIÓN ESTATICA
ΔP_{PT}
$\Delta P_{RT}=\Delta P_{VC}$
ΔP_{FT}
ΔP_{CT}
NO DEBEN COLOCARSE CONEXIONES DE PRESIÓN EN ESTA REGIÓN DE NO CAMBIO
(0.35-0.85)D
PRESIÓN EN LA VENA CONTRACTA (P_{vc})
DIAMETRO MINIMO
2.5 D
8 D
D
D/2
TOMAS EN ESQUINA (CT) D<2"
D
TOMAS EN BRIDA (FT) D>2"
TOMAS EN RADIO (RT) D>6"
FLUJO
TOMAS DE TUBERÍA (PT)
PLACA DE ORIFICIO

PERFIL DE PRESIÓN EN UNA PLACA DE ORIFICIO Y LOS DIFERENTES MÉTODOS DE DETECTAR LA CAÍDA DE PRESIÓN

Ecuación de las placas de orificio

La relación de proporcionalidad es del tipo cuadrática, en la que el flujo es la raíz cuadrada de la presión diferencial por una constante. El flujo al interaccionar con la restricción cambia su energía potencial (presión) por energía cinética (velocidad), describiendo un patrón de flujo muy especial que recibe el nombre de vena contracta.

$$Q = KA\sqrt{h}_w \qquad \textbf{(1)}$$

donde:

Q = Flujo.
h_w = Caída de presión producida por la restricción.
A = Área de la restricción.
K = Coeficiente de descarga del sistema.

El teorema de Bernoulli describe el funcionamiento de la placa de orificio, donde se hace una relación entre la energía potencial, la energía cinética y las pérdidas por fracción del fluido con la tubería y la restricción.

Fórmula de cálculo, caso líquido

La determinación se hará mediante el procedimiento conocido como “Método Universal”. Este método utiliza a la variable “s”, que recibe el nombre de factor de descarga, como una función de β (relación de diámetros), definido por:

$$S = \frac{Q_{med}\sqrt{G_L}}{ND_i^{\,2}\sqrt{h_m F_t F_a F_m F_c F_p}}$$

donde:

S.- Factor de descarga = flujo real/flujo teórico, que pasa a través del orificio (=) adimensional.
$Q_{med.}$ Gasto máximo correspondiente a la escala total del medidor, en GPM o m^3/hr.
G_L Gravedad específica del fluido a 60º F.
N Constante de proporcionalidad, que depende de las unidades usadas.
D Diámetro interno de la tubería en pulgadas o milímetros.
h_m Rango diferencial de presión máxima del rango seleccionado en “H_2O ó mm H_2O.
F_m Factor de corrección por densidad relativa del líquido de sello (elemento secundario manómetros de mercurio o medidores de campana)
F_a Factor de corrección por expansión del material de la placa.
F_p Factor de corrección por compresibilidad.
F_c Factor de corrección por número de Reynolds basada en S.
F_t Factor de corrección por temperatura.

Fórmula de cálculo, caso gas

En este caso se hace uso del método conocido como " especial", el que se define por la siguiente expresión:

$$\mathrm{K}_O\beta^2 = \frac{Q_{med}}{338.17\left(\frac{14.73}{P_b}\right)\left(\frac{T_b}{520}\right)D_i^2\left(\frac{520}{T_f}\right)\left(\frac{1}{G}\right)\left(\frac{Z_b}{\sqrt{Z_f}}\right)F_r Y F_a F_m F_{wv}\sqrt{h_m P_f}}$$

donde:

$K_0\beta^2$= Factor de descarga [=] adimensional

Q_{med}= Gasto máximo correspondiente a la escala total del medidor en SCFH a Presión y Temperatura de operación.

P_b = Presión base en Psia. (por ejemplo para Pemex; 1kg/cm ^{2} ó 14.223 lb/pulg^2)

T_b = Temperatura base en ºR (por ejemplo para Pemex; 20º C o 528ºR).

P_f = Presión del fluido en Psia.

T_f = Temperatura del flujo en ºR.

G = Gravedad específica del fluido a P y T de operación.

Z_b = Factor de compresibilidad del fluido a condiciones base.

Z_f = Factor de compresibilidad del fluido a P y T de operación.

F_r = Factor de corrección por número de Reynolds.

Y= Factor de corrección por expansión del fluido.

F_{wv} = Factor de corrección por humedad del gas.

Di, F_a, F_m y h_m= Definidos anteriormente.

Fórmula de cálculo, caso vapores

La metodología empleada en el cálculo de placas de orificio para vapores, es similar a la desarrollada para gases. Este procedimiento tiene ligeras variaciones, por lo que a continuación se describe la secuencia de cálculo.

La ecuación que describe el factor de descarga es:

$$\mathrm{K}_O\beta^2 = \frac{W_{med}}{359\,D^2\sqrt{h_m}\,F_f F_a F_r\,\mathrm{Y}\sqrt{\gamma_f}}$$

donde:

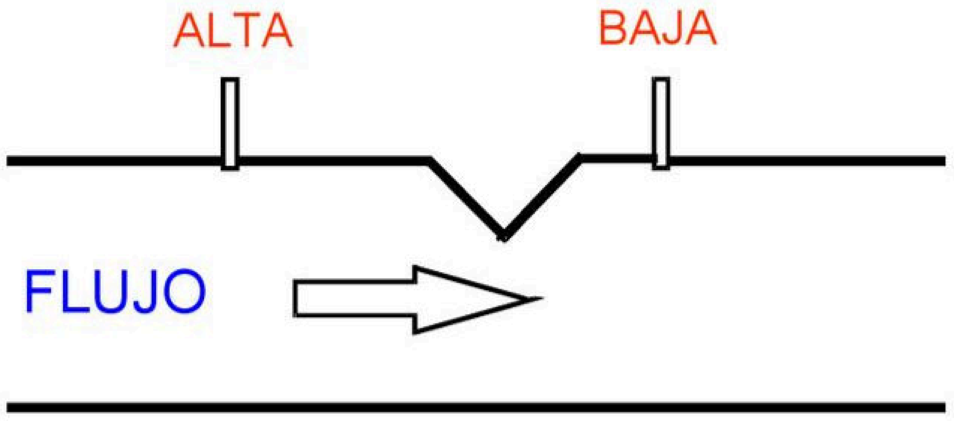
$K_0ß^2$ = Factor de descarga.
W_{med} = Gasto másico máximo del vapor que manejará el medidor [=] Lb/h
γ_f
F_f = Densidad del vapor en Lb/F_t^3.
= Factor de peso específico del vapor de tabla 26 Spink.
h_m, D, F_a, F_r y Y= definidos anteriormente

Cuña de flujo

La cuña, como la placa de orificio, produce una presión diferencial y opera linealmente para números de Reynolds por encima de 500.

Sus aplicaciones típicas son en lechadas y fluidos viscosos (sujeta a limitación en el número de Reynolds).

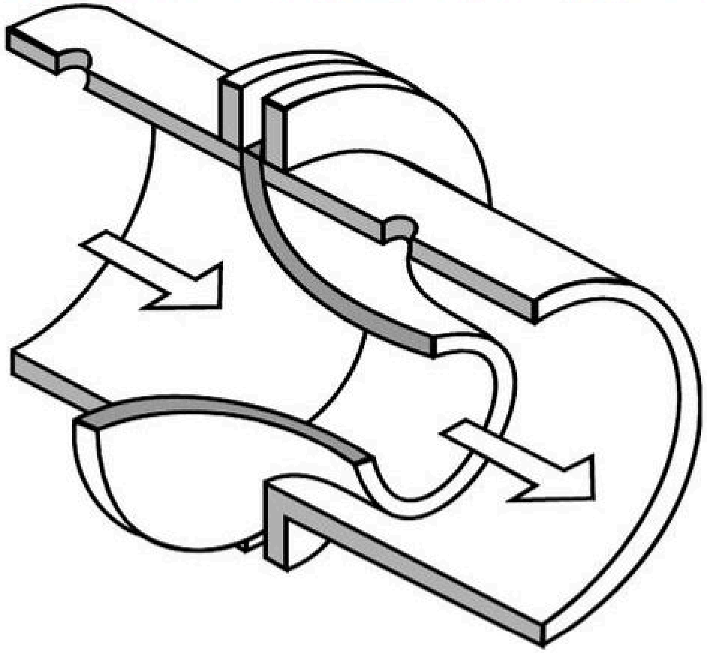
Están disponibles los sellos químicos o conexiones de tipo capilar para ayudar a prevenir el taponamiento de la tubería de impulso.



Tobera de flujo

La tobera de flujo consiste de una restricción con una sección de contorno elíptica que es tangente a la sección de garganta cilíndrica. Se utiliza para aplicaciones típicas de alta temperatura, alta velocidad y fluidos con números de Reynolds de 50,000 y mayores. Sus características son:

- Se utiliza en presión diferencial baja
- No se puede remover fácilmente para reemplazarse.
- Utilizada para servicio de vapor.
- No recomendado para fluidos con un gran porcentaje de sólidos.



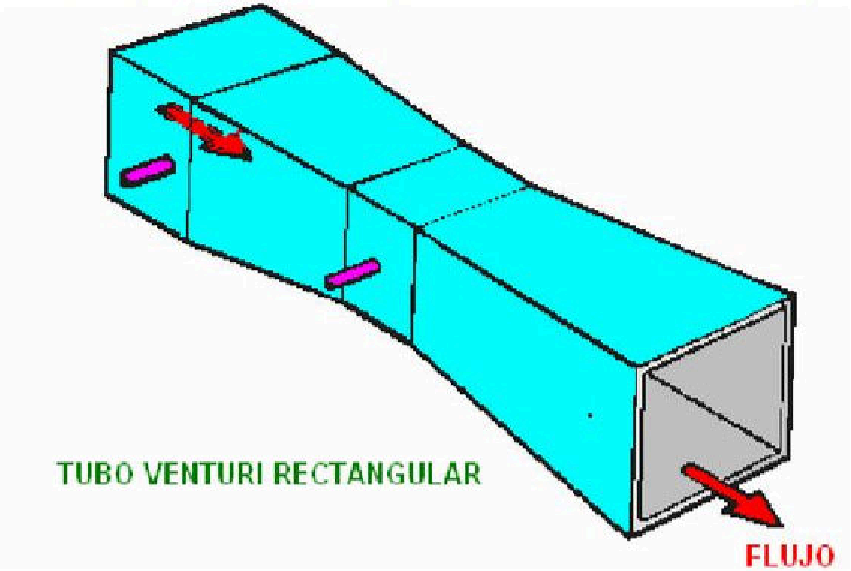
Tubo venturi

El tubo venturi consta de tres partes fundamentales:

a) una sección de entrada cónica convergente en la sección transversal disminuye, lo que se traduce en un aumento de la velocidad del fluido y una disminución de la presión;

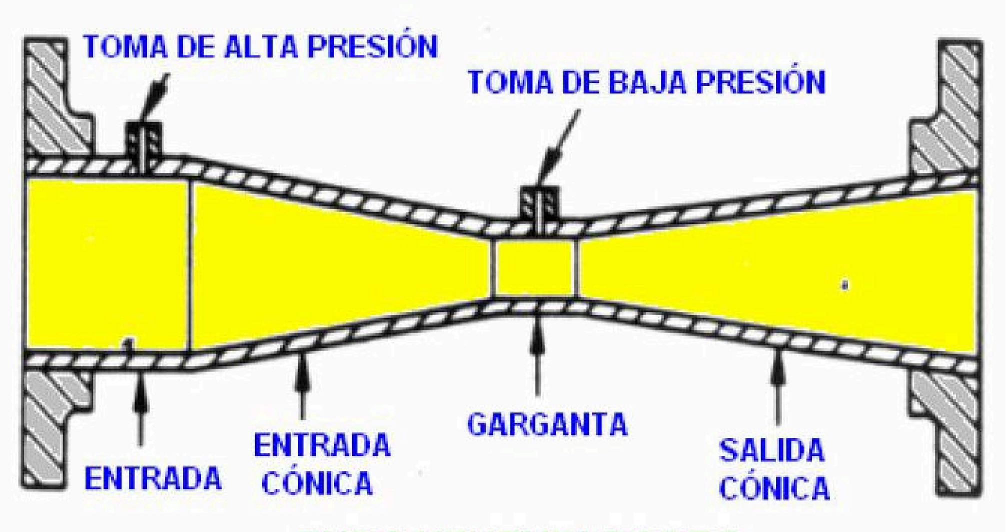
b) una sección cilíndrica o garganta en la que se sitúa la toma de baja presión, y donde la velocidad del fluido se mantiene prácticamente constante, y

c) una salida cónica divergente en la que la sección transversal aumenta, disminuyendo la velocidad y aumentando la presión, permitiendo una recuperación de la mayor parte de la presión diferencial producida y un ahorro de energía.



Tubo venturi

El tubo venturi es particularmente recomendable cuando el fluido contiene grandes cantidades de sólidos en suspensión o corrientes de flujo sucias puesto que la entrada lisa permite que el material extraño sea arrastrado y no acumularse como pasaría en una placa de orificio. Los requerimientos de la tubería son similares a los de la placa de orificio.


TOMA DE ALTA PRESIÓN
TOMA DE BAJA PRESIÓN
ENTRADA
ENTRADA CÓNICA
GARGANTA
SALIDA CÓNICA

TUBO VENTURI CORTO

Con el fin de reducir las pérdidas de carga causadas por una tobera, puede acoplarse a continuación de la tobera una sección divergente similar a la utilizada para un tubo Venturi, resultando una combinación que se denomina venturi - tobera.

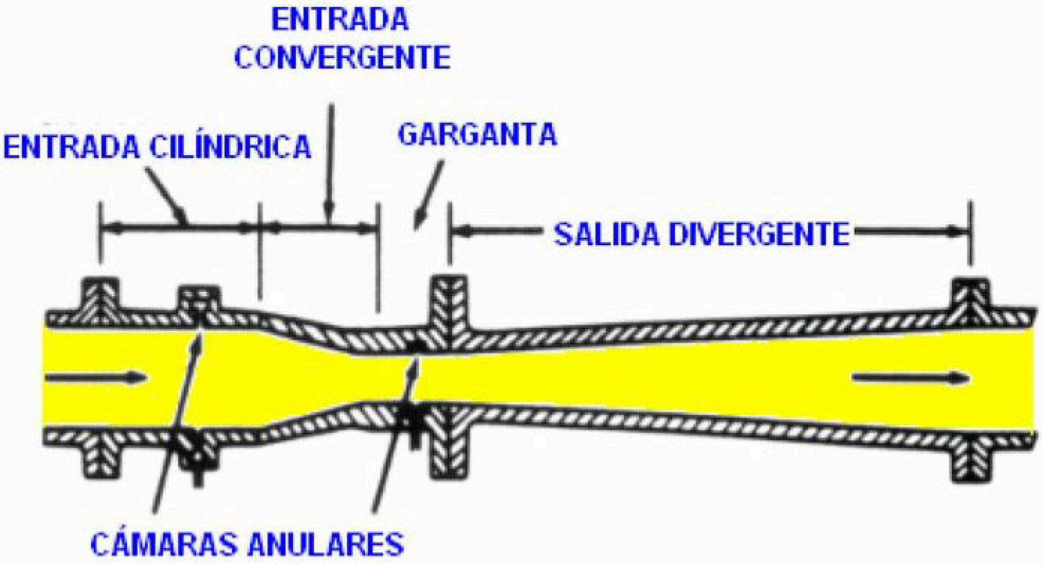
Tubo venturi

Sus ventajas principales son:

- Se caracteriza por producir una menor pérdidas de presión permanente con respecto a la placa de orificio y la tobera de flujo.

- Su capacidad de flujo es aproximadamente de un 50% mayor que una placa de orificio.

- No está sujeto a obstrucciones por sólidos del fluido debido a su simetría.


ENTRADA CONVERGENTE
ENTRADA CILÍNDRICA
GARGANTA
SALIDA DIVERGENTE
CÁMARAS ANULARES

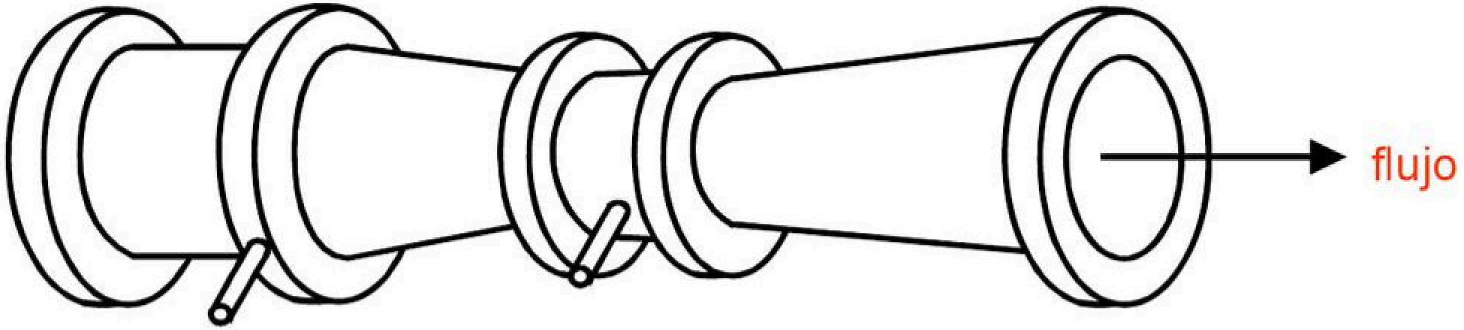
TUBO VENTURI HERSCHEL CLÁSICO
CON CÁMARAS DE PRESIÓN ANULARES

Tubo venturi

Las principales limitaciones de los tubos Venturi son su elevado costo y la longitud necesaria para su instalación, sobre todo para grandes tamaños de tubería.

Sin embargo, debido a su baja pérdida de carga, son justificados en casos donde tiene que bombearse grandes cantidades de líquido de forma continua.

Cuando la pérdida de carga no es importante, suele prescindirse del tubo Venturi y sustituirse por una placa de orificio debido a su menor costo y mayor facilidad de instalación y mantenimiento.

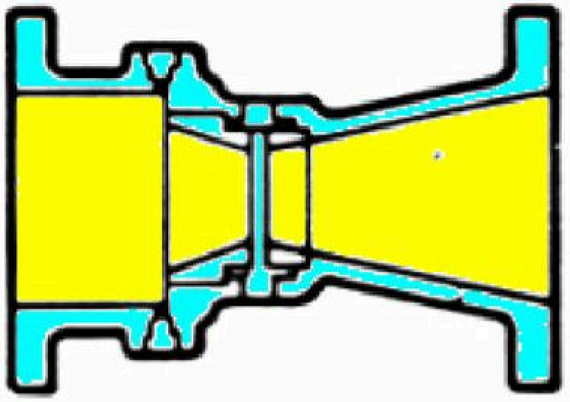


Tubo dall

El tubo Dall consiste de un cuerpo cilíndrico de longitud relativamente corta y que es paralelo en dirección a la tubería seguido por la convergencia de un cono corriente arriba y un cono divergente corriente abajo, y una pequeña abertura entre los dos cono que permite al fluido llenar el espacio formado por la pared externa del tubo Dall y la tubería.

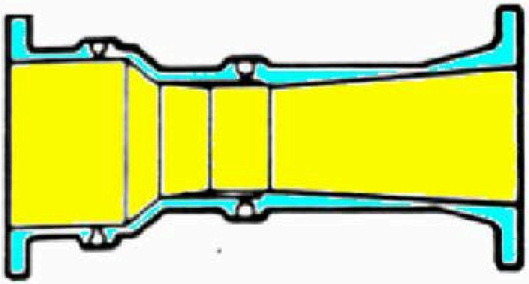
Este elemento, por sus características de diseño, no es recomendable para la medición de fluidos que contengan sólidos en suspensión.

La ventaja principal de este tubo es su caída de presión permanente aproximada que es de 2.5 a 6% de la diferencial medida, contra un 10 a 14 % para el mismo fluido en un tubo Venturi.

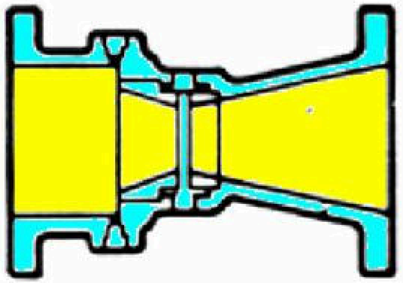


TUBO DALL

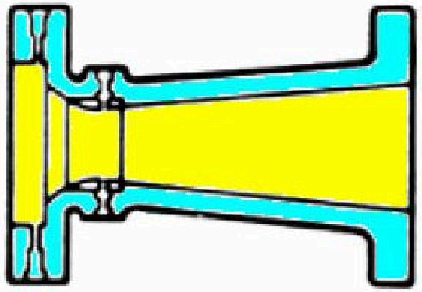
Diferentes diseños de tubos de flujo



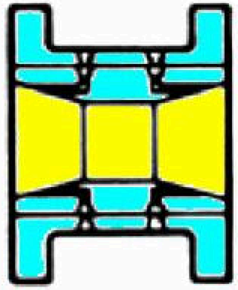
TUBO VENTURI UNIVERSAL B.I.F.



TUBO DALL

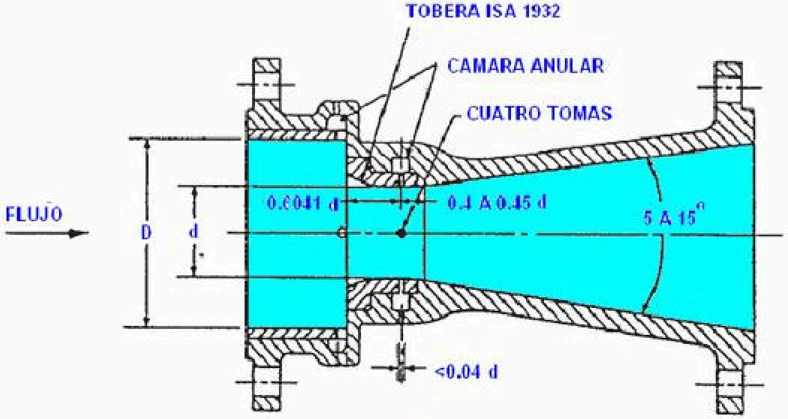


TUBO LO-LOSS BADGER



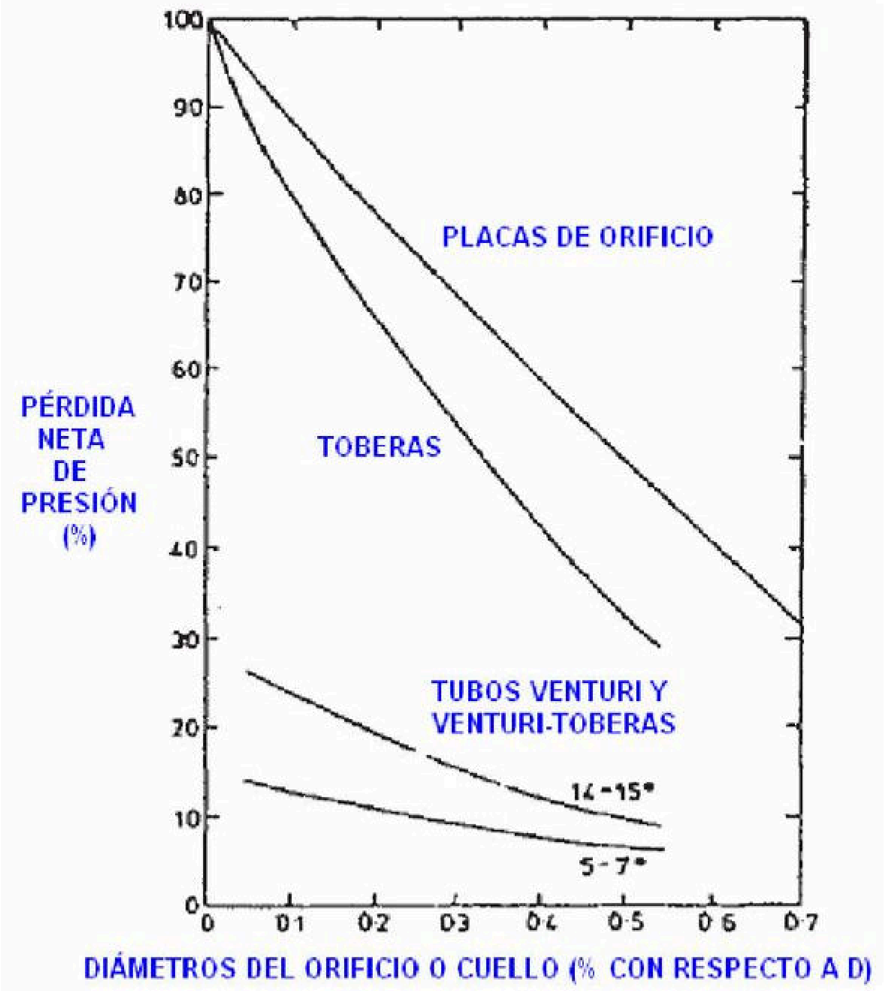
TUBO BETHLEHEM O GENTILE

DISEÑOS PROPIETARIOS DE
TUBOS DE FLUJO


TOBERA ISA 1932
CAMARA ANULAR
CUATRO TOMAS
FLUJO
D
d
0.6041 d
0.4 A 0.45 d
5 A 15°
<0.04 d

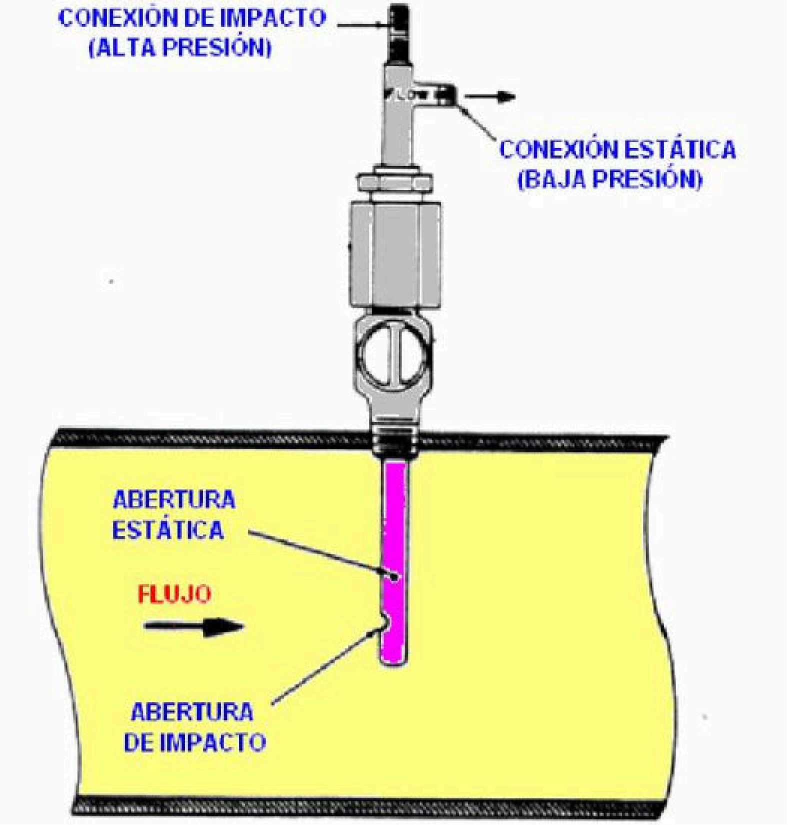
COMBINACIÓN TOBERA-VENTURI

Pérdida de presión de los diferentes medidores de flujo de presión diferencial



Tubo pitot

El tubo de Pitot es quizá la forma más antigua de medir la presión diferencial y también conocer la velocidad de circulación de un fluido en una tubería. Esta forma más sencilla consta de un pequeño tubo con la entrada orientada en contra del sentido de la corriente del fluido. La velocidad del fluido en la entrada del tubo se hace nula, al ser un punto de estancamiento, convirtiendo su energía cinética en energía de presión, lo que da lugar a un aumento de presión dentro del tubo Pitot.


CONEXIÓN DE IMPACTO
(ALTA PRESIÓN)
LOW
CONEXIÓN ESTÁTICA
(BAJA PRESIÓN)
ABERTURA
ESTÁTICA
FLUJO
ABERTURA
DE IMPACTO

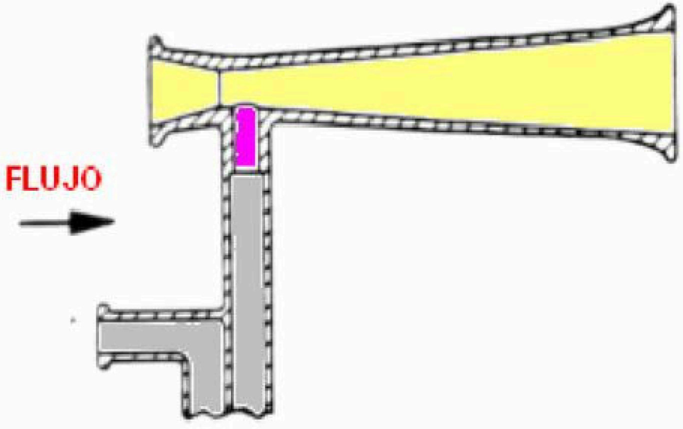
Tubo pitot

En la práctica se emplea un diseño con dos tubos concéntricos, uno interior que actúa como el tubo Pitot y el exterior como un medio de medir la presión estática.

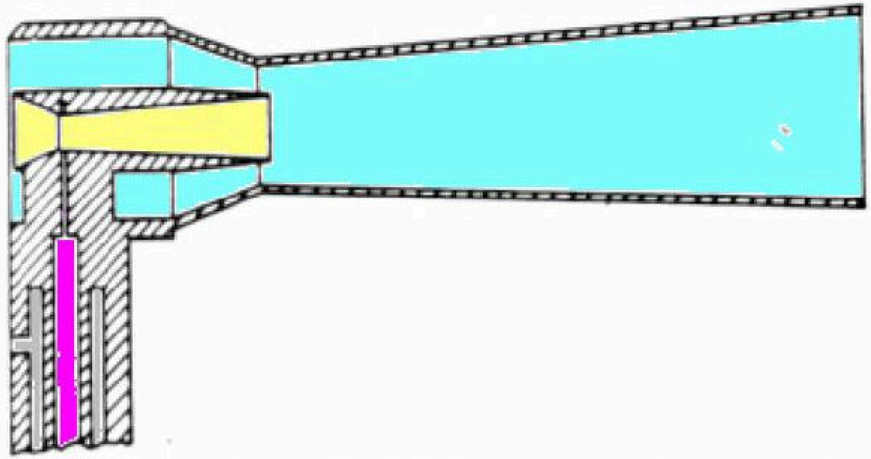
Los tubos de Pitot son instrumentos sencillos, económicos, con una caída de presión baja y disponibles en un amplio margen de tamaños. Si se utilizan adecuadamente pueden conseguirse precisiones moderadas y, aunque su uso habitual sea para la medida de la velocidad del aire, se usan también, con la ayuda de una técnica de integración, para indicar el caudal total en grandes conductos y, prácticamente, con cualquier fluido.

Probablemente la principal desventaja sea su dificultad para medir bajas velocidades del aire. Para líquidos quizás el principal problema sea la rotura de la sonda. En el tubo pitot sencillo, la colocación es muy crítica. Si el flujo esta en el extremo inferior del perfil turbulento, la diferencia en velocidad que atraviesa el flujo requerirá que se inserte el flujo donde se pueda determinar que velocidad se esta midiendo.

Arreglos de tubos pitot



UN TUBO PITOT-VENTURI PRODUCE UNA PRESIÓN DIFERENCIAL ALTA, MAS QUE EL TUBO PITOT



EL DOBLE VENTURI PRODUCE UNA MAS ALTA PRESIÓN DIFERENCIAL QUE EL TUBO PITOT ESTÁNDARD

Tubo annubar

El tubo annubar es una innovación del tubo de pitot.

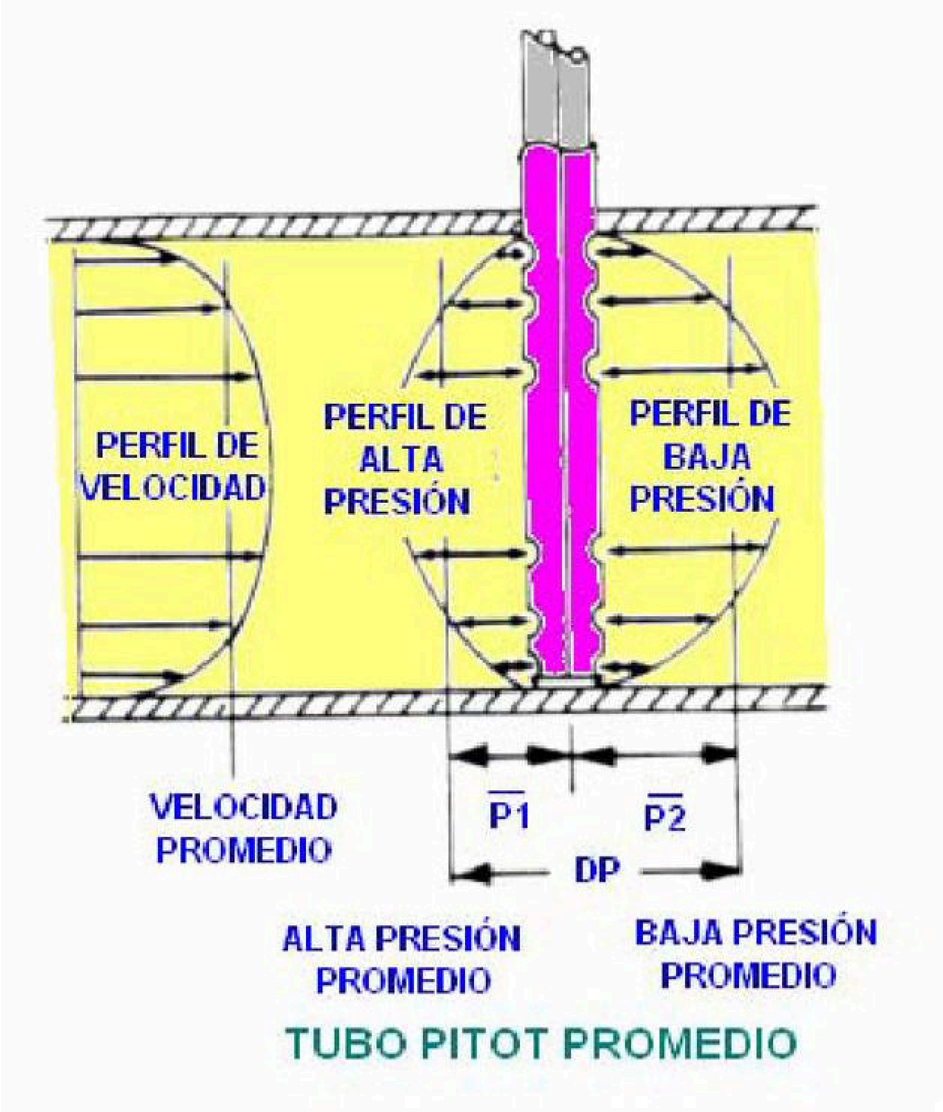
Cuenta con tubo exterior, situado a lo largo de un diámetro transversal de la tubería, y dos tubos interiores. El tubo exterior presenta cuatro orificios en la cara aguas arriba de la corriente, que utiliza para interpolar los perfiles de velocidad y realizar un promedio, y otro orificio en el centro del tubo pero en la cara aguas debajo de la corriente.

De los tubos que están en su interior, uno sirve para promediar las presiones obtenidas en los cuatro orificios, midiendo la presión total, mientras que el otro tubo, que se encuentra en la parte posterior, mide la presión estática en el orificio central aguas debajo de la corriente.

Existen diferentes tipos de tubos annubar, cuya selección depende del tamaño de la línea y su aplicación.

El tubo annubar tiene mayor precisión que el tubo de pitot, así como una baja perdida de carga, utilizándose para la medida de pequeños y grandes flujos de fluidos.

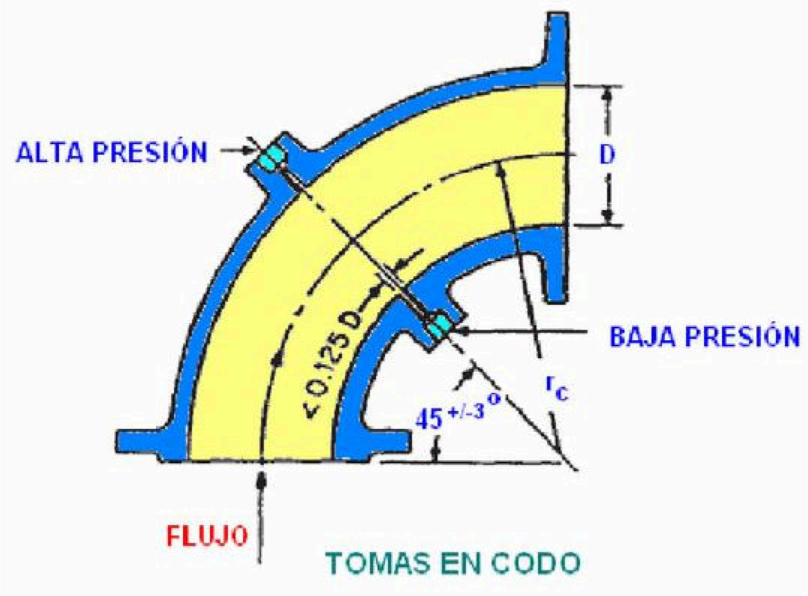
Tubo annubar


PERFIL DE VELOCIDAD
PERFIL DE ALTA PRESIÓN
PERFIL DE BAJA PRESIÓN
VELOCIDAD PROMEDIO
$\overline{P1}$
$\overline{P2}$
DP
ALTA PRESIÓN PROMEDIO
BAJA PRESIÓN PROMEDIO

TUBO PITOT PROMEDIO

Codos

Cuando un fluido circula por el codo de una tubería, está sujeto a una aceleración angular. La fuerza centrífuga resultante crea una presión diferencial entre el radio interior y el radio exterior. La raíz cuadrada de esta presión diferencial es proporcional al flujo, siendo la base fundamental de estos medidores de flujo.


ALTA PRESIÓN
D
BAJA PRESIÓN
< 0.125 D
r_c
$45^{+/-3^o}$
FLUJO
TOMAS EN CODO

Codos

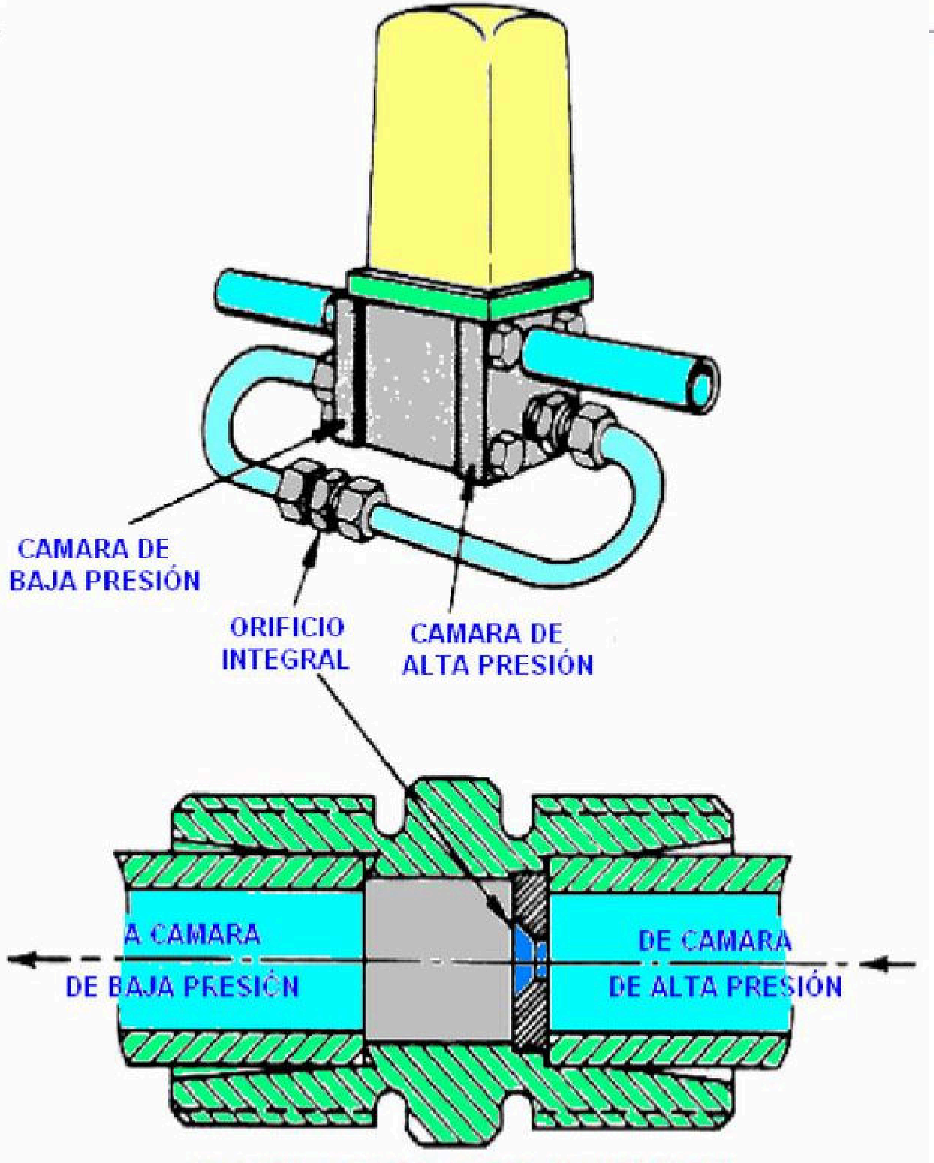
Las tomas en el codo presentan la ventaja de que como la mayoría de las configuraciones de tuberías tienen codos, pueden situarse en ellos las tomas de presión. Esto permite una instalación económica, sin perdidas de presión, y sin introducir obstrucciones en la línea.

Debe ponerse especial cuidado para alinear los orificios de las tomas de presión en ambos planos. Si el codo esta calibrado, su precisión puede ser comparable a la de una placa de orificio

Transmisores de orificio integral

El medidor de flujo con orificio integral se aplica principalmente en la medición de caudales muy pequeños, en laboratorios y plantas piloto.

Generalmente se utiliza una placa con un orificio entre 0.020 y 0.350 pulgadas para tamaño 1/2", 0.242 y 0.832 para 1", 0.382 y 1.18 para 1 1/2" de diámetro, el cual restringe el paso del flujo; la placa se encuentra montada y conectada a un transmisor de presión diferencial.


CAMARA DE
BAJA PRESIÓN
ORIFICIO
INTEGRAL
CAMARA DE
ALTA PRESIÓN
A CAMARA
DE BAJA PRESIÓN
DE CAMARA
DE ALTA PRESIÓN

TRANSMISOR DE ORIFICIO INTEGRAL

Orificios de restricción

Los orificios de restricción se usan para regular flujos no críticos tales como purgas. Los tamaños grandes de 4” son montadas entre bridas, y los tamaños pequeños de 1” son montados en unión.

El cálculo de líquido esta basado sobre el procedimiento de dimensionamiento de orificios, con un ajuste para la recuperación de presión.

Para el cálculo de gas se supone flujo sónico, es decir la presión de descarga es menos que la mitad de la presión de entrada absoluta. Si este no es el caso, se utiliza la ecuación para cálculo de orificios para gas.

Medidor de flujo tipo cono en V

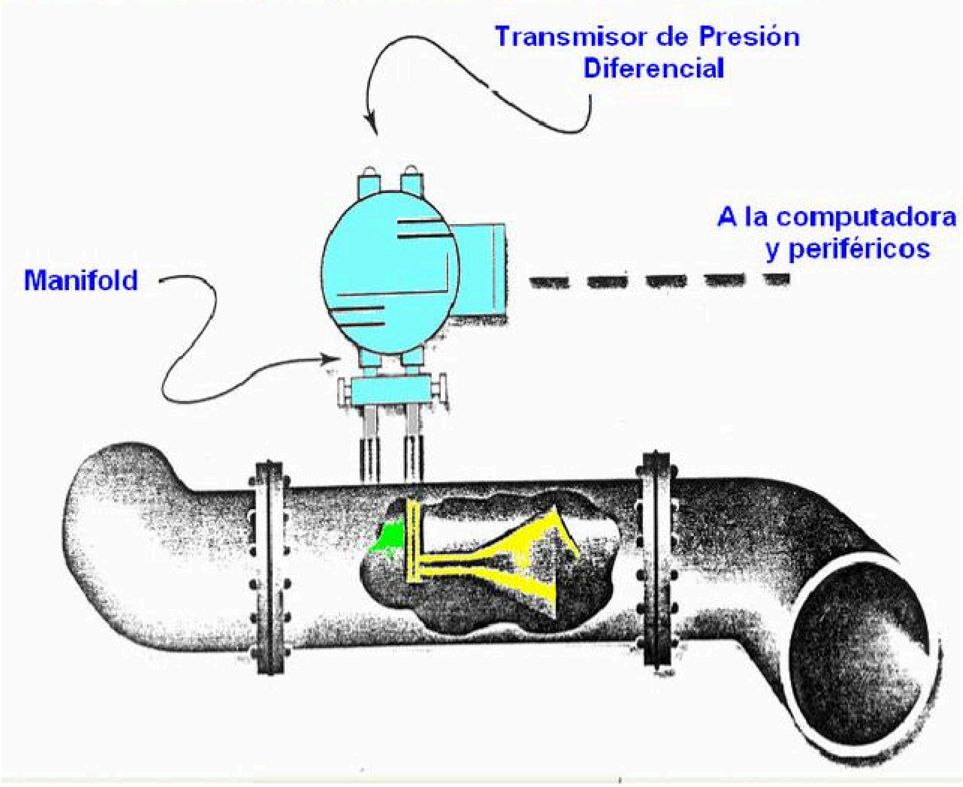
El medidor de flujo de presión diferencial V-Cone, utiliza tecnología patentada que mide el flujo en forma precisa a través de una amplia gama de números de Reynolds, bajo todo tipo de condición y para una variedad de fluidos.

Opera basándose en el el teorema de conservación de la energía del flujo de fluidos a través de un tubo.

El desempeño del V-Cone es por mucho mejor, ya que incluye cono central en el interior del tubo. El cono interactúa con el flujo del fluido, modificando el perfil de velocidad del mismo para crear una región de presión mas baja inmediatamente de aguas abajo del mismo. Presenta baja caída de presión, es mas estable con un amplio rango de materiales y sus aplicaciones son para líquidos, gas y vapor.

Medidor de flujo tipo cono en V

Una de las tomas se coloca inmediatamente corriente arriba del cono y la otra se coloca en la cara orientada corriente abajo. Después la diferencia de presión se puede incluir en una derivada de la ecuación de Bernoulli para determinar el régimen de flujo. La posición central del cono en la línea optimiza el perfil de velocidad de flujo en el punto donde se hace la medición, asegurando mediciones de flujo altamente precisas y confiables, sin importar la condición de flujo aguas arriba del medidor

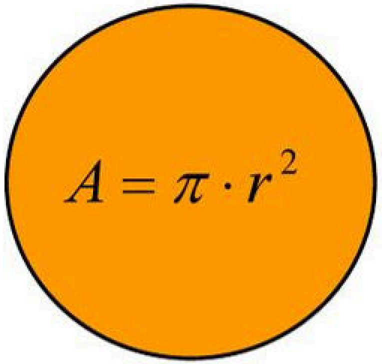

Transmisor de Presión Diferencial
A la computadora y periféricos
Manifold

Medidores de flujo de velocidad

Los cuatro medidores de flujo de tipo velocidad más comunes son:

- Medidor magnético
- Vortex
- Turbina
- Ultrasónico

La medición del flujo se infiere a traves de la ecuación de continuidad, convirtiendo la velocidad promedio de flujo, en flujo volumétrico considerando el área constante.



$$A = \pi \cdot r^2$$

$$Q = V \cdot A$$

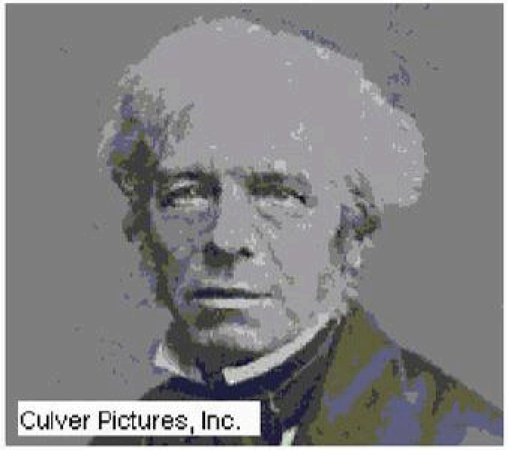
Q gpm = (2.448) x (d ^{2}, in) x (v, ft/s)

Medidores de flujo magnéticos

El medidor de flujo magnético se basa en la Ley de Faraday de inducción electromagnética, la cual establece que un voltaje puede ser inducido en un conductor en movimiento a través de un campo magnético.

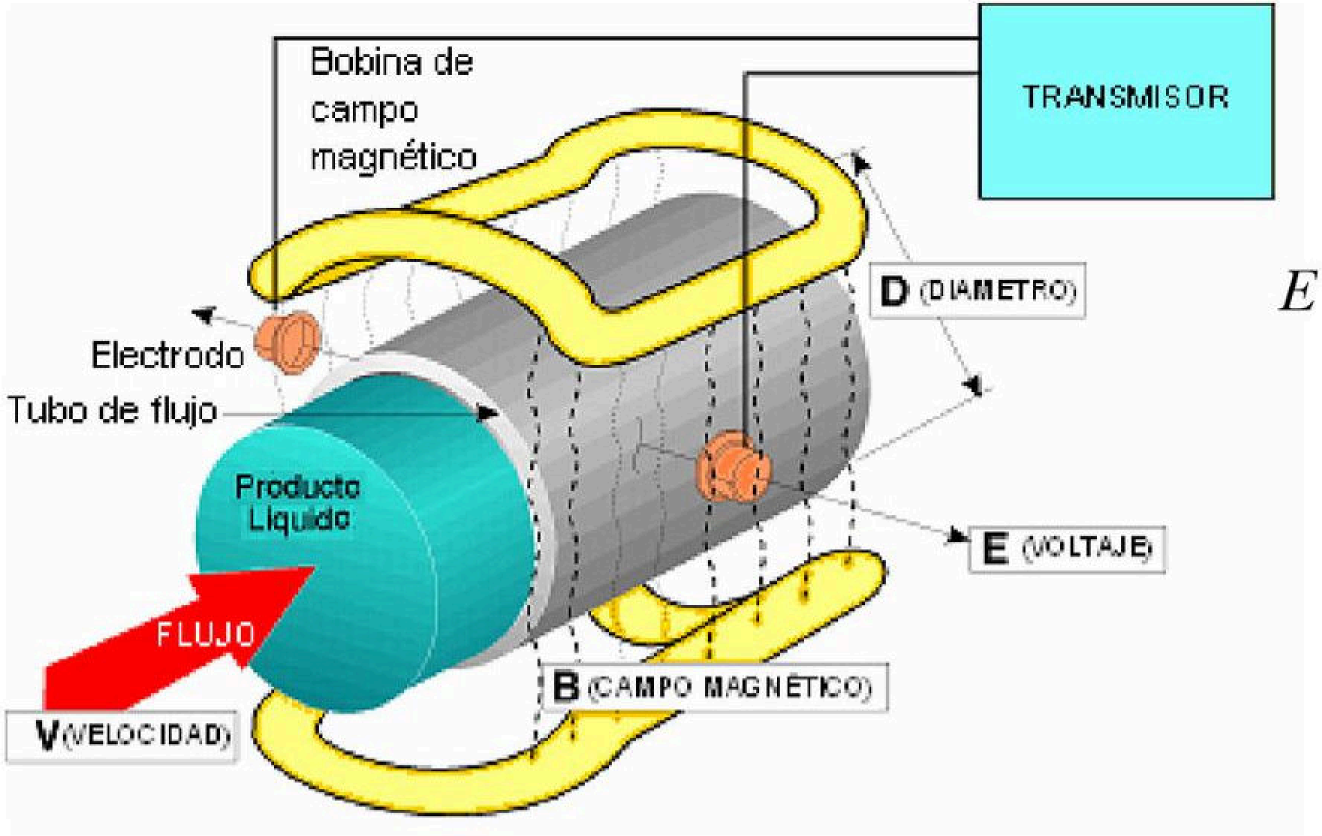
$$E = k \cdot B \cdot D \cdot V$$

La magnitud de voltaje inducido E es directamente proporcional a la velocidad del conductor V, al diámetro D del conductor y a la fuerza de campo magnético B.


Culver Pictures, Inc.

Medidores de flujo magnéticos

Cuando el par de bobinas es energizada, se genera un campo magnético, el cual debe ser perpendicular al eje del líquido conductor y al plano de los electrodos. El líquido debe considerarse como un número infinito de conductores moviéndose a través del campo magnético y contribuyendo cada elemento al voltaje generado. El fluido debe tener alguna conductividad mínima ya que actúa como un conductor.


Bobina de campo magnético
TRANSMISOR
D (DIAMETRO)
Electrodo
Tubo de flujo
Producto Líquido
E (VOLTAJE)
FLUJO
B (CAMPO MAGNÉTICO)
V (VELOCIDAD)

$$E = k \cdot B \cdot D \cdot V$$

Características de los MF magnéticos

-Mide flujo volumétrico.

-No tiene partes en movimiento.

- Mide flujo de líquidos con partículas de sólidos en movimiento o lodos.

- Alta exactitud y repetibilidad sobre diferentes rangos (+/- 0.25% de exactitud y 0.2 % de repetibilidad).

-Alta confiabilidad por no tener partes en movimiento.

- Aire en el líquido no daña el sensor.

- Mantiene su precisión con el tiempo.

- No depende del número de Reynolds

Características de los MF magnéticos

- Los tamaños de tubería normalmente son de ½” hasta 12”.

-

- La presión de diseño menor de 580 psig (40 bar)

- La temperatura de diseño menor de 200 °C (392 °F)

- El rango del flujo es desde 0.01 hasta 100,000 GPM.
  - 3 to 6 ft/s para fluidos viscosos, lodos abrasivos
  - 5 to 10 ft/s para fluidos con baja viscosidad y lodos con solidos
  - 6 to 20 ft/s para fluidos limpios

Aplicaciones de los medidores magnéticos

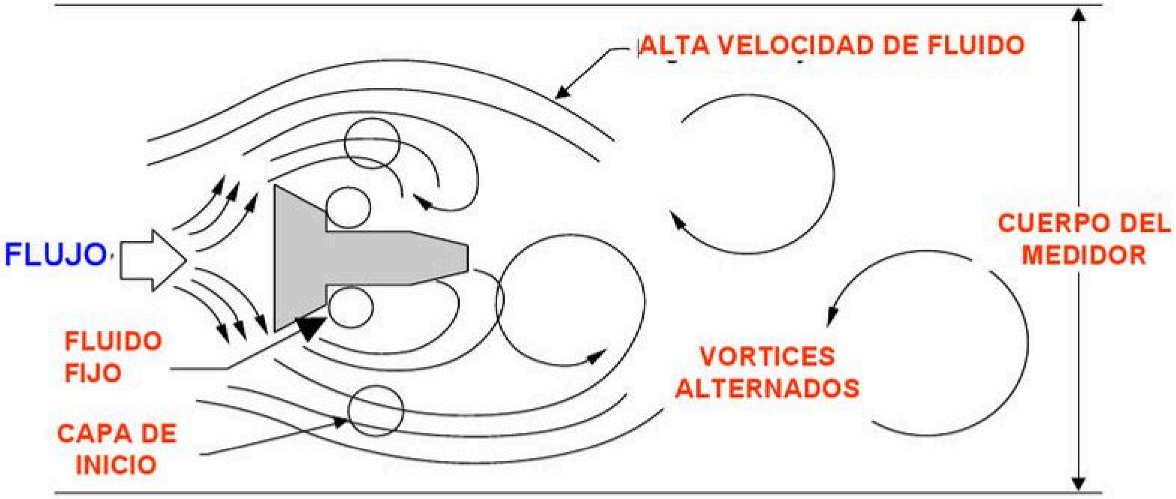
Estos medidores se aplican ampliamente en:

- Líquidos mezclados con agua,
- En el manejo de pasta,
- En procesos altamente corrosivos,
- En plantas de tratamiento de efluentes (industrias de desechos),
- En plantas de papel,
- En la industria del grano (maíz, cereal),
- En la industria de resinas, pinturas,
- En la medición de productos viscosos,
- En la industria de alimentos (leche, mezclas de helados, industria de cerveza, café, salsas, etc) y
- en donde la medición de flujo de proceso es díficil

Medidor tipo Vortex

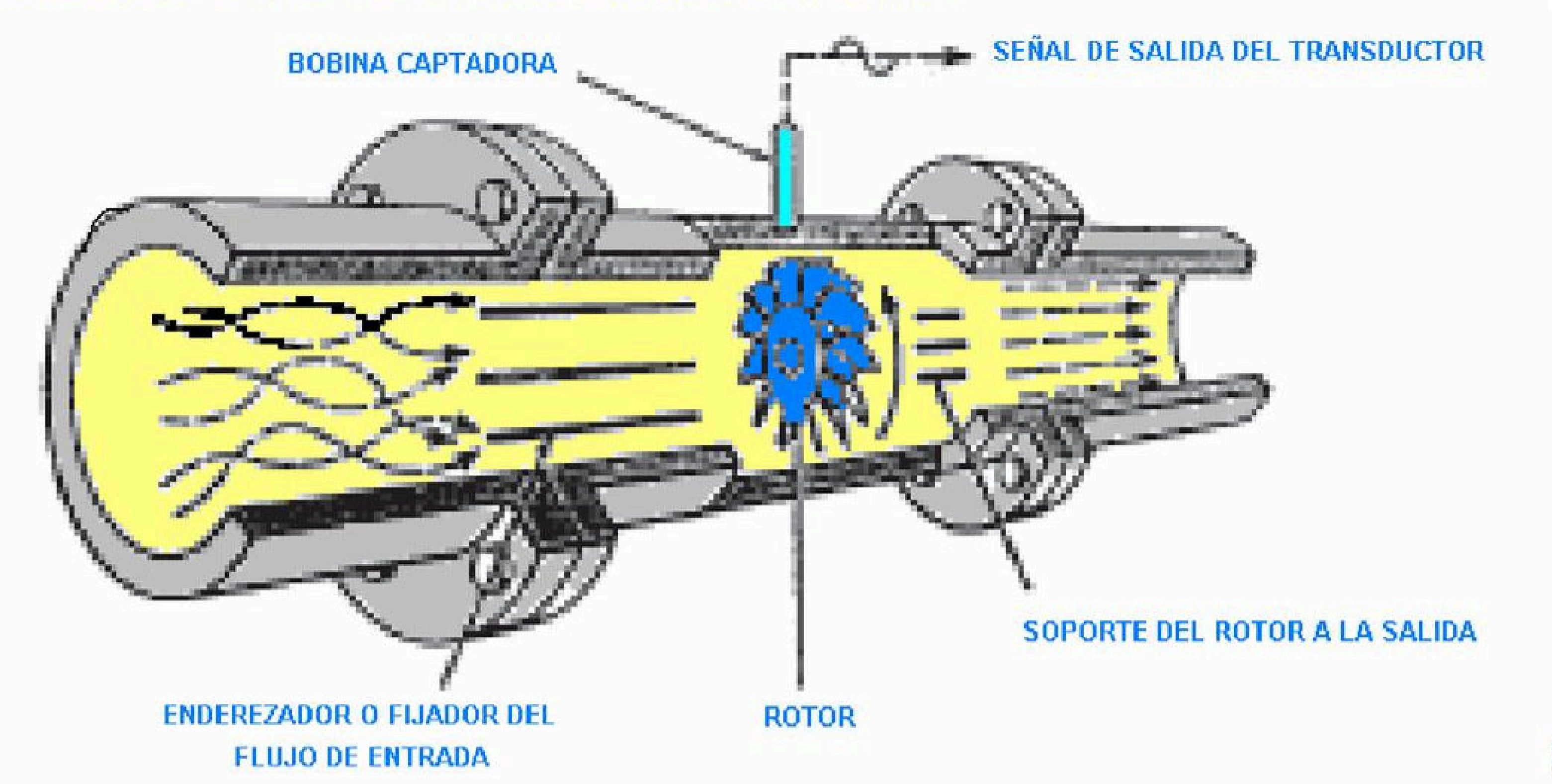
El medidor tipo Vortex es un ejemplo de un medidor de flujo oscilatorio. A baja velocidad, el modelo del flujo permanece alíneado, sin embargo al incrementar la velocidad, el fluido se separa de cada lado del cuerpo y se arremolina formando vórtices (torbellinos) corriente abajo del cuerpo. El número de vórtices generados es directamente proporcional a la velocidad del fluido.

El Vortex crea una señal pulsante el cual puede ser medido.


ALTA VELOCIDAD DE FLUIDO
FLUJO
CUERPO DEL MEDIDOR
FLUIDO FIJO
VORTICES ALTERNADOS
CAPA DE INICIO

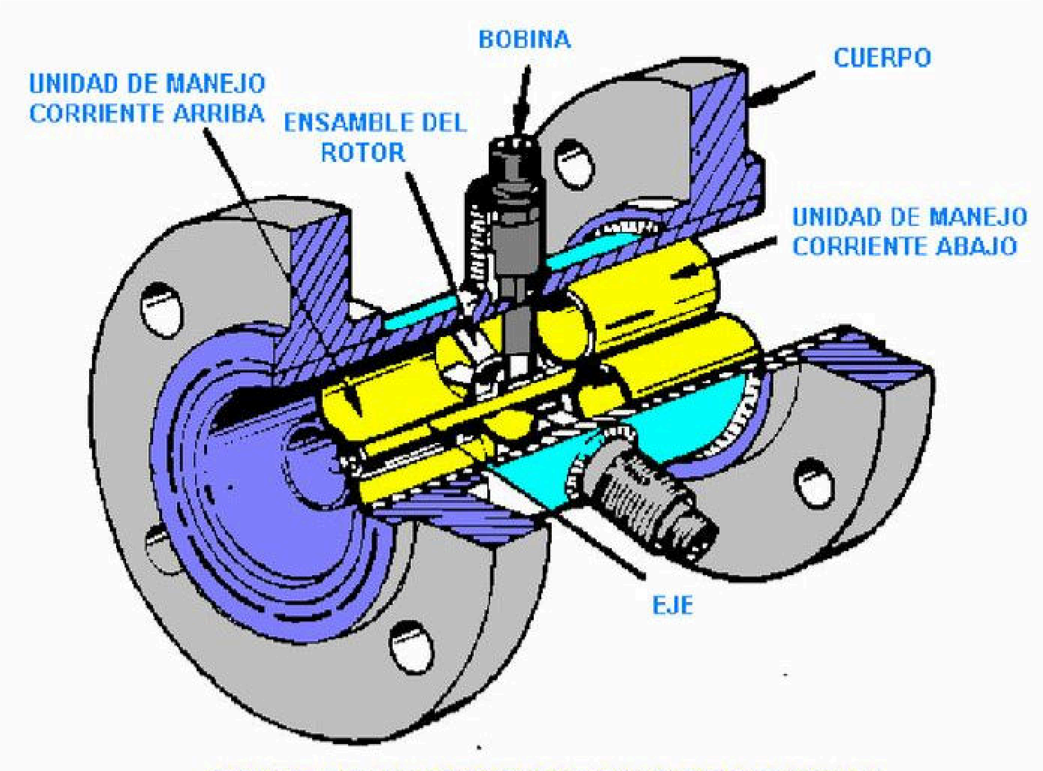
Medidor de flujo tipo turbina

Un medidor de flujo tipo turbina es aceptado ampliamente como una tecnología probada que es aplicable para medir flujo con una alta exactitud y repetibilidad y consiste de un sensor para detectar la velocidad real de un líquido que fluye por un conducto. La movilidad del líquido ocasiona que el rotor se mueva a una velocidad tangencial proporcional al flujo del volumen. El movimiento del rotor puede ser detectado mecánica, óptica o eléctricamente, registrándose el movimiento del rotor en un sistema lector externo.


BOBINA CAPTADORA
SEÑAL DE SALIDA DEL TRANSDUCTOR
SOPORTE DEL ROTOR A LA SALIDA
ENDEREZADOR O FIJADOR DEL FLUJO DE ENTRADA
ROTOR

Medidor de flujo tipo turbina

Los medidores para gas y para líquido funcionan bajo el mismo principio. La sección transversal de un medidor de turbina típico para líquidos consta de una longitud de tubería en el centro de la cual hay un rotor de paletas múltiple, montado sobre cojinetes, para que pueda girar con facilidad, y soportado corriente arriba y corriente abajo por un dispositivo centrado tipo cruceta que, habitualmente, incorpora un enderezador de la vena fluida.


BOBINA
CUERPO
UNIDAD DE MANEJO CORRIENTE ARRIBA
ENSAMBLE DEL ROTOR
UNIDAD DE MANEJO CORRIENTE ABAJO
EJE

CORTE DE UN MEDIDOR TIPICO TIPO TURBINA

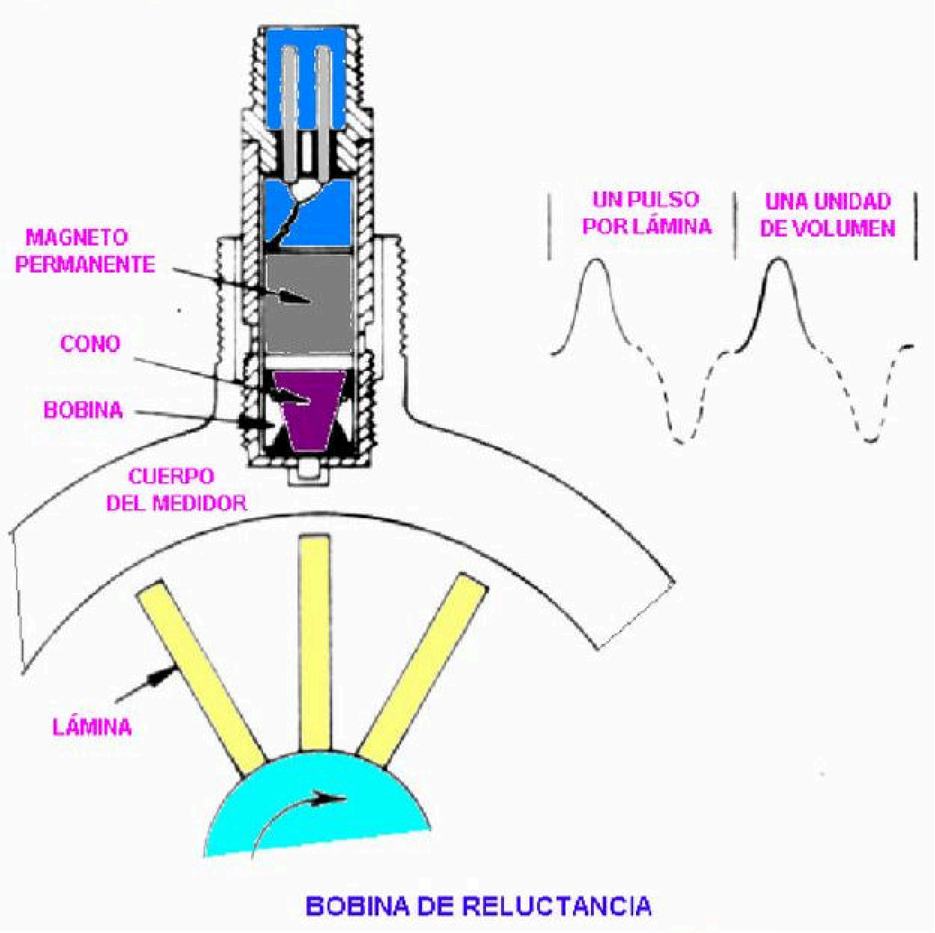
La energía cinética del fluido circulando hace girar el rotor con una velocidad angular que, en el margen lineal del medidor, es proporcional a la velocidad media axial del fluido y, por tanto, al flujo volumétrico.

Medidor de flujo tipo turbina

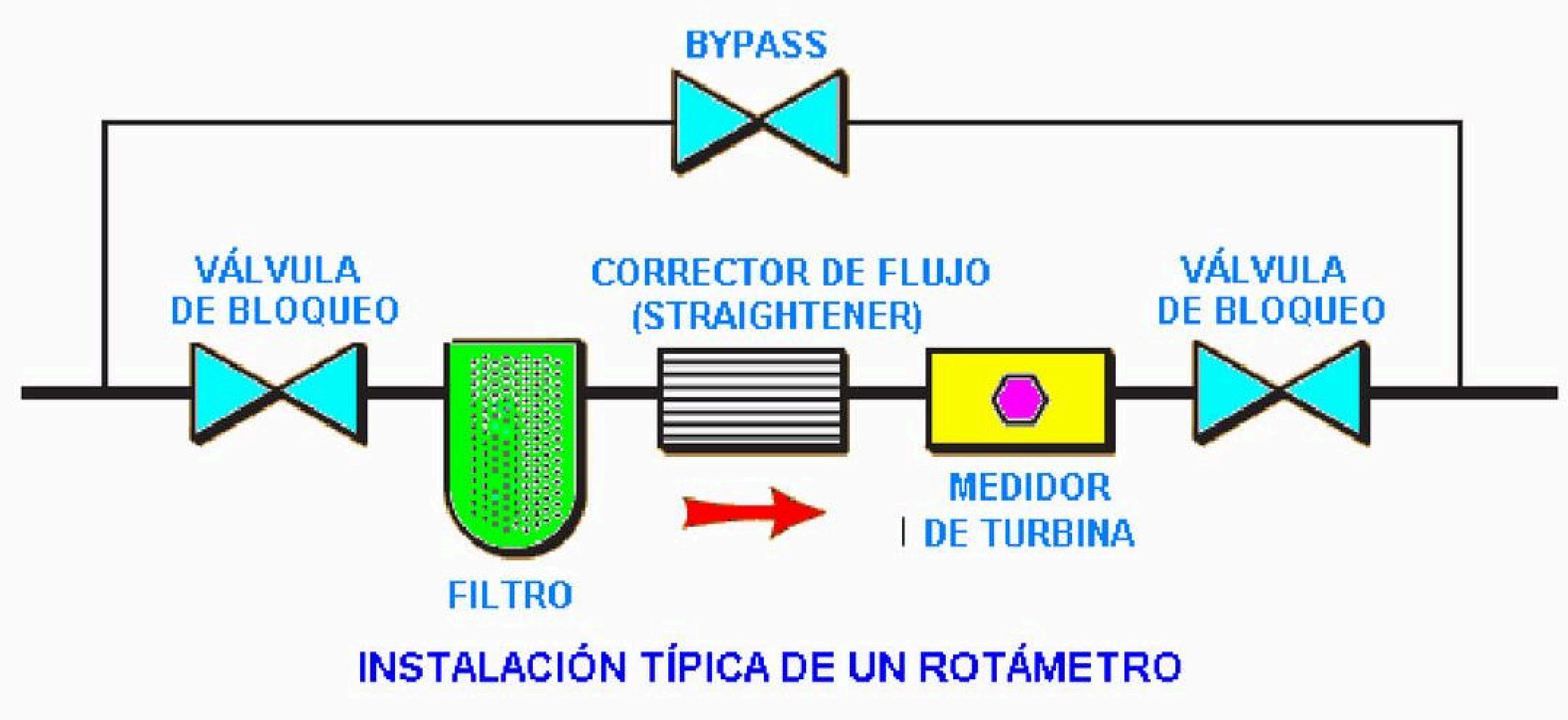
Los medidores de turbina para gas o líquido difieren fundamentalmente en el diseño del rotor. Una salida mediante impulsos eléctricos se produce cuando se detecta el paso de cada paleta alrededor de uno o más sensores situados en el campo del medidor. El punto más débil en un medidor de turbina para líquidos son los cojinetes, ya que tienen que soportar el peso del rotor.

Algunas turbinas proporcionan una frecuencia de la señal de salida que varía linealmente con el caudal volumétrico sobre rangos de flujo especificados.

La bobina colectora o sonda convierte la velocidad del rotor a una señal de frecuencia equivalente.


MAGNETO PERMANENTE
CONO
BOBINA
CUERPO DEL MEDIDOR
UN PULSO POR LÁMINA
UNA UNIDAD DE VOLUMEN
LÁMINA
BOBINA DE RELUCTANCIA

Instalación del MF tipo turbina


BYPASS
VÁLVULA DE BLOQUEO
CORRECTOR DE FLUJO (STRAIGHTENER)
VÁLVULA DE BLOQUEO
FILTRO
MEDIDOR DE TURBINA

INSTALACIÓN TÍPICA DE UN ROTÁMETRO

Tamaño del medidor	Tamaño máximo de partícula en pulgadas
1/4 a 1/2"	0.0055
5/8 a 1 ¼ "	0.008
1 ½ " a 3"	0.015

Aplicación del MF tipo turbina

Una turbina es una unidad versátil; ésta soporta un rango extremadamente alto a presiones y temperaturas, y debido a que está fabricada de acero inoxidable es compatible con una amplia gama de fluidos. Sin embargo, los fluidos deben de ser relativamente limpios y no deben ser productos de alta viscosidad.

Una limitación potencial de los medidores tipo turbina es que estos tienen un componente móvil –el rotor- y un cojinete que esta sujeto a desgaste. Mediante el uso de cojinetes de carburo de tungsteno, se puede lograr que éstos tengan una vida útil de más de 5 años sin mantenimiento y sin necesidad de la aplicación de líquidos lubricantes.

OMEGA
CALIBRATE
DISPLAY
0.58

Ventajas y limitaciones de los MF tipo turbina

VENTAJAS	LIMITACIONES
Son utilizados frecuentemente como medidores de flujo maestros debido a su excelente repetibilidad.	No convenientes para altas viscosidades
Rango de flujos de 10:1	Calibración requerida
Versátil, conveniente para operación bajo condiciones severas	Pueden dañarse por sobrevelocidades y gasificación
Amplia disponibilidad de tamaños	Relativamente caros
Alta confiabilidad (con un solo componente móvil) utilizado en transferencia de custodia	Sus requerimientos de contrapresión son altos
Salida digital y lineal	El componente móvil es sujeto a desgaste
Respuesta rápida	Afectados por las condiciones del flujo corriente arriba
Tamaño pequeño y peso ligero	Requieren indicación secundaria
Fácil instalación	En su instalación es obligatorio utilizar filtros
Pueden diseñarse para cumplir requerimientos de higiene	

Medidor de flujo tipo ultrasónico

Los medidores de flujo tipo ultrasónico como su nombre lo indica, miden el flujo por medición de energía u onda ultrasónica en sistemas cerrados.

Existen dos tipos:

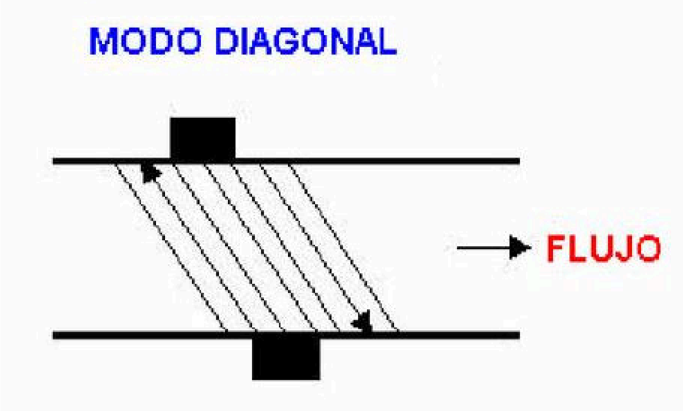
-Medidor ultrasónico de tiempo transitorio o por impulsos y

- Medidor ultrasónico por efecto Doppler

Medidor de flujo ultrasónico de tiempo transitorio

El medidor ultrasónico de tiempo transitorio o por impulsos son los más precisos y se utilizan preferentemente con líquidos limpios, aunque algunos permiten medir con cierto contenido de partículas (lodos orgánicos), gas y un % de burbujeo .

El método de medida es una diferencial por tiempo de tránsito, es decir, mide el flujo tomando el tiempo que tarda la energía ultrasónica en atravesar la sección de tubería con y contra el flujo de líquido en la tubería.



Este método se basa en un hecho físico. Si se imaginan dos canoas atravesando un río sobre una misma línea diagonal, una en el sentido del flujo y la otra en contraflujo, la canoa que se desplaza en el sentido del flujo necesitará menos tiempo en alcanzar su objetivo.

Medidor de flujo ultrasónico de tiempo transitorio

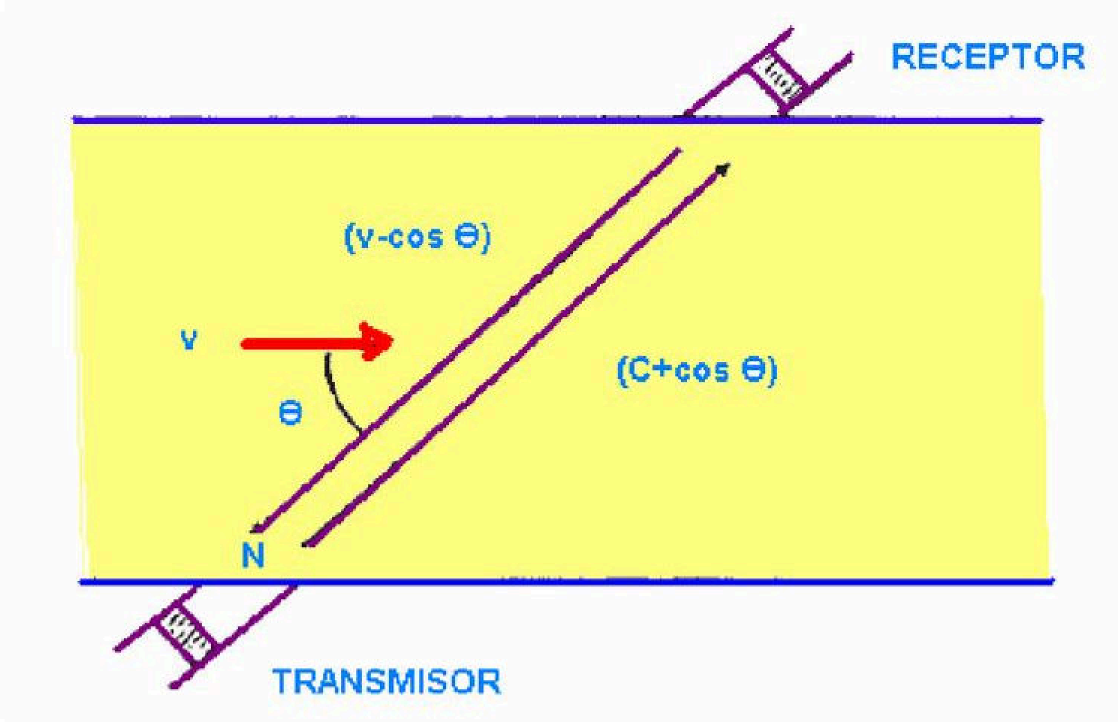
La diferencial se puede referenciar al tiempo y a la frecuencia para calcular la velocidad de flujo.

$$V = N \cdot \frac{\Delta t}{2} \cos\theta \cdot t_A^2$$

donde t_A es el tiempo promedio de tránsito

$$V = \Delta f \cdot \frac{N}{2} \cdot \cos\theta$$

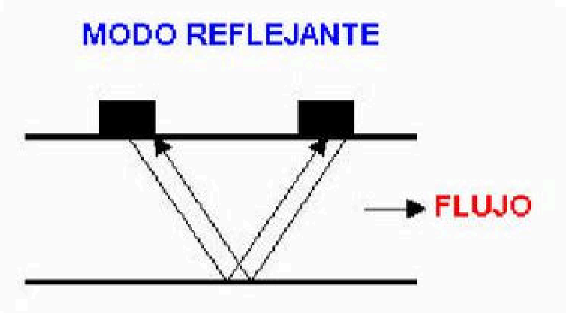
donde Δf es generada por dos osciladores

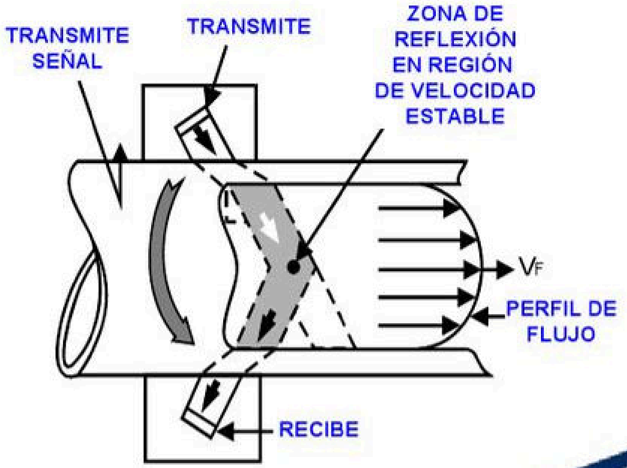

RECEPTOR
(v-cos Θ)
v
Θ
(C+cos Θ)
N
TRANSMISOR

Medidor de flujo tipo ultrasónico tipo Doppler

El efecto Doppler puede entenderse fácilmente si se considera el cambio que se produce en la frecuencia cuando un tren se mueve hacia una persona con su bocina sonando, cuando el tren se acerca, el nivel de volumen de la bocina es más alto, ya que las ondas sonoras son mas próximas, que si el tren estuviera parado. Cuando el tren se aleja, aumenta el espaciamiento, dando un nivel mas bajo. Este cambio aparente de frecuencia se denomina Efecto Doppler y es directamente proporcional a la velocidad relativa entre el objeto móvil, el tren y la persona.

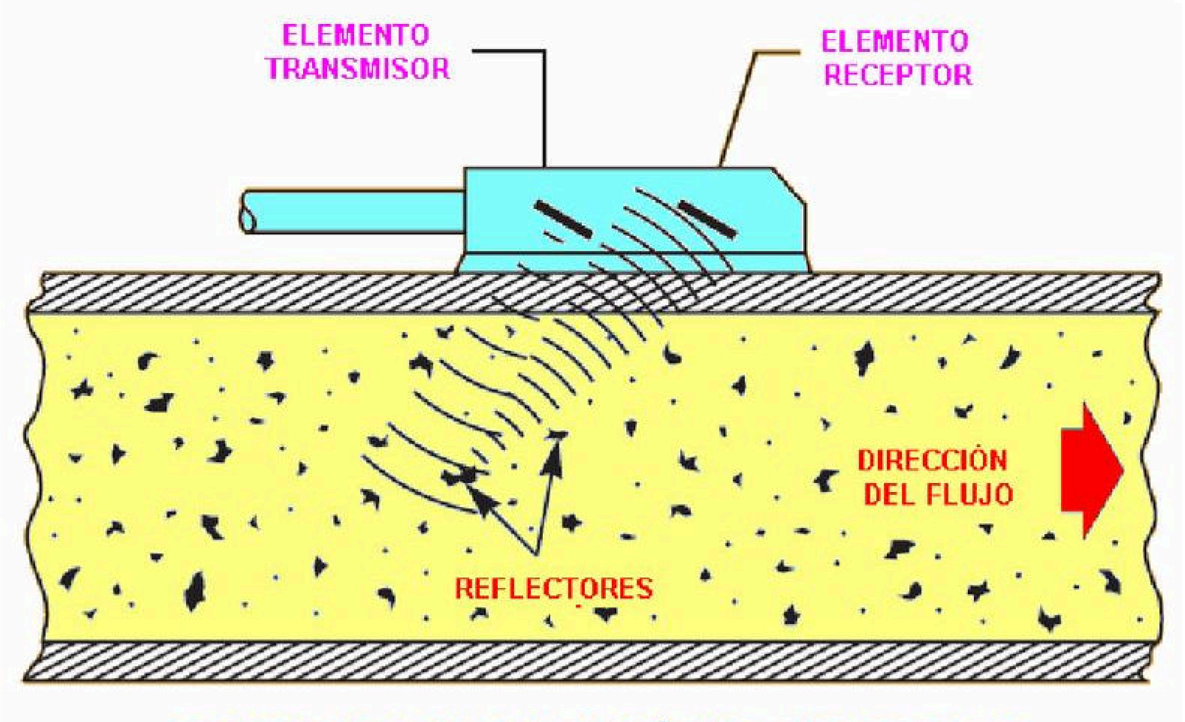
El medidor de flujo de efecto Doppler utiliza este concepto al proyectar una onda ultrasónica en un ángulo a través de la pared de la tubería en un fluido en movimiento con partículas, por un cristal transmisor. Parte de la energía es reflejada por las burbujas del líquido hacia un cristal receptor.


MODO REFLEJANTE
FLUJO


TRANSMITE SEÑAL
TRANSMITE
ZONA DE REFLEXIÓN EN REGIÓN DE VELOCIDAD ESTABLE
V_F
PERFIL DE FLUJO
RECIBE

Medidor de flujo tipo ultrasónico tipo Doppler

Debido a que los reflectores viajan a la velocidad del fluido, la frecuencia de la onda reflejada presenta un corrimiento o esta desviada de acuerdo al principio Doppler. De acuerdo a lo anterior, se tiene gran parte de su aplicación para medir fluidos con altos niveles de concentración de sólidos (0.2% a 60% sólidos).


ELEMENTO TRANSMISOR
ELEMENTO RECEPTOR
DIRECCIÓN DEL FLUJO
REFLECTORES

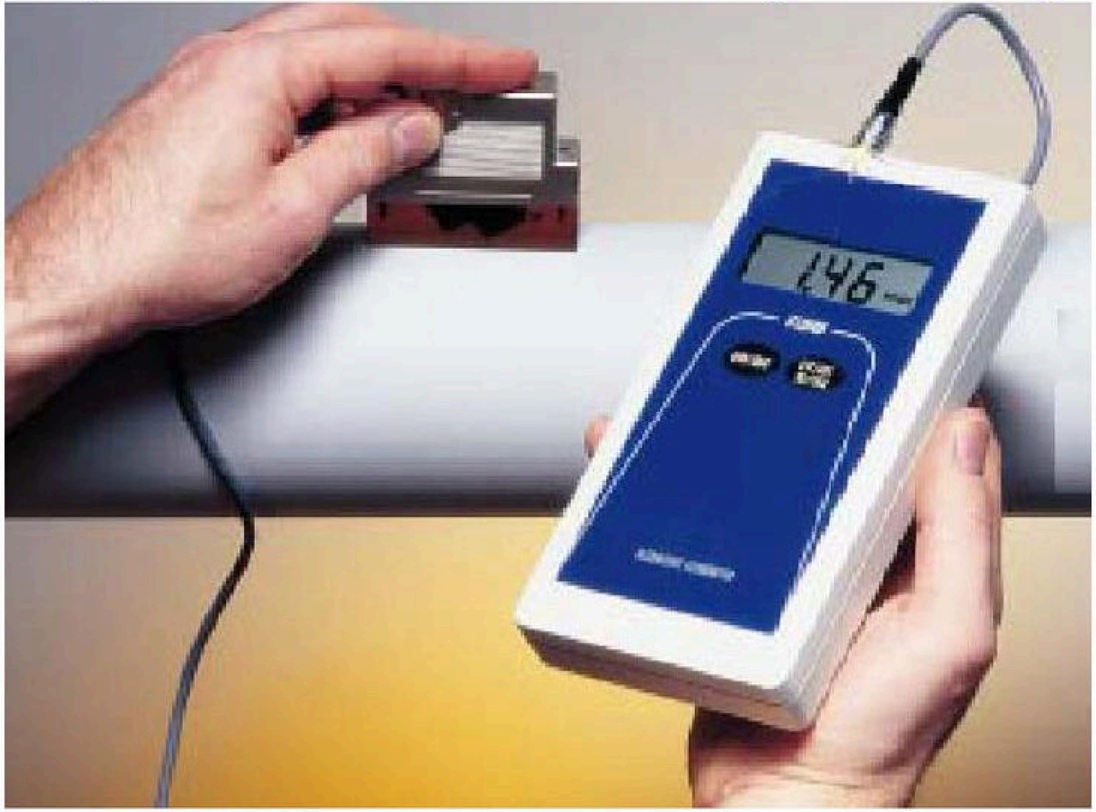
SENSOR DE FLUJO ULTRASÓNICO TIPO DOPPLER

Características del MF ultrasónico tipo Doppler

La temperatura de diseño va desde -60 ºC a 260 ºC.

La presión de diseño no esta limitada.

Los rangos de flujo velocidad van desde 0.2 ft/seg. a 60 ft/seg.



Características del MF ultrasónico tipo Doppler

La rangeabilidad de este tipo de medidores de ultrasonido no es una limitante. Puede manejar doble flujo y se puede cambiar de tubería.

Los tamaños de tubería son desde ½ " hasta 72 " con una´exactitud de 0.5 a 1%, una exactitud de calibración de 0.10 a 0.25% y, repetibilidad de 0.05%.

El costo de instalación arriba de 6" de tamaño de línea es bajo comparado con una placa de orificio, turbina, medidor de flujo magnético, venturi, vortéx.

Su mayor ventaja es que no tiene partes móviles y se utiliza en tuberías grandes, fluidos corrosivos y peligrosos y servicio sin revestimiento.

Medidores de flujo másico

- a) ¿Qué es flujo másico?

Flujo másico = Masa / Tiempo

Ejemplos de unidades :

Pounds / minuto (Lb/min)
Kilogramos / hour (Kg/hr)
Gramos / second (gr/sec)

b) ¿Que es flujo volumétrico?

Flujo volumétrico = Volumen / Tiempo

Ejemplos de unidades:

- Litros / minuto (LPM)
- Galones / minuto (GPM)
- Pie cúbico / hora (Ft^3/Hr)

Medidores de flujo másico

c) ¿Que es Flujo volumétrico corregido?

Flujo volumétrico corregido = Densidad x Volumen / Tiempo = flujo másico

Ejemplos de Unidades de Flujo Volumétrico Corregido:

- Litros standard/ minuto (SLPM)
- Centímetro cúbico standard / minuto (sccm)
- Pie cúbico standard / hora (SCFH)

Medidores de flujo másico

- La densidad de un fluído varía con los cambios en temperatura y presión:
  - Densidad = *f* (fluído, T, P)
- Debido a esta variación, se utilizan condiciones normalizadas para calcular la densidad.
- Condiciones normalizadas de Presión y Temperatura:
  - Presión Standard
    - 14.7 psia = 760 torr = 1 atm
  - Temperatura Standard
    - Industrial - 70 °F
    - Semiconductor - 0 °C
    - Otras, definidas por el usuario

Medidores de flujo másico

- Flujo másico = densidad x Volumen / tiempo
- Para medición de flujo másico se debe considerar:
  - Tipo de fluido, Temperatura y Presión deben ser conocidas y consideradas

$$SCFM = ACFM \times (P / 14.7) \times (530 / T)$$

Medidores de flujo másico

Los medidores de flujo másico, desarrollados en los años 80's, miden la masa directamente utilizando propiedades de la masa, opuestos a aquellos que miden volumen o velocidad.

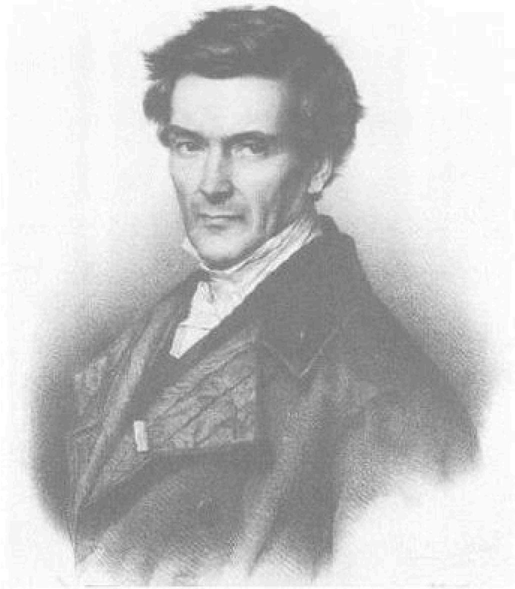
Tienen amplia gama de aplicaciones debido a que su medición es independiente del cambio de parámetros del fluido, sin necesidad de recalibrar o compensar los parámetros específicos del fluido. Muchas de las otras tecnologías son afectadas por cambios en la densidad del fluido, viscosidad, presión y/o temperatura.

Básicamente existen dos tipos :

- Medidor de flujo másico tipo Coriolis
- Medidor de flujo másico tipo térmico

Medidor de flujo másico tipo Coriolis

Gustave Gaspard Coriolis (1792-1843) fué un ingeniero y matemático que describió la fuerza Coriolis por primera vez en 1835 ("Sur les equations du mouvement relatif des systemes de corps"). La aceleración Coriolis se define como:



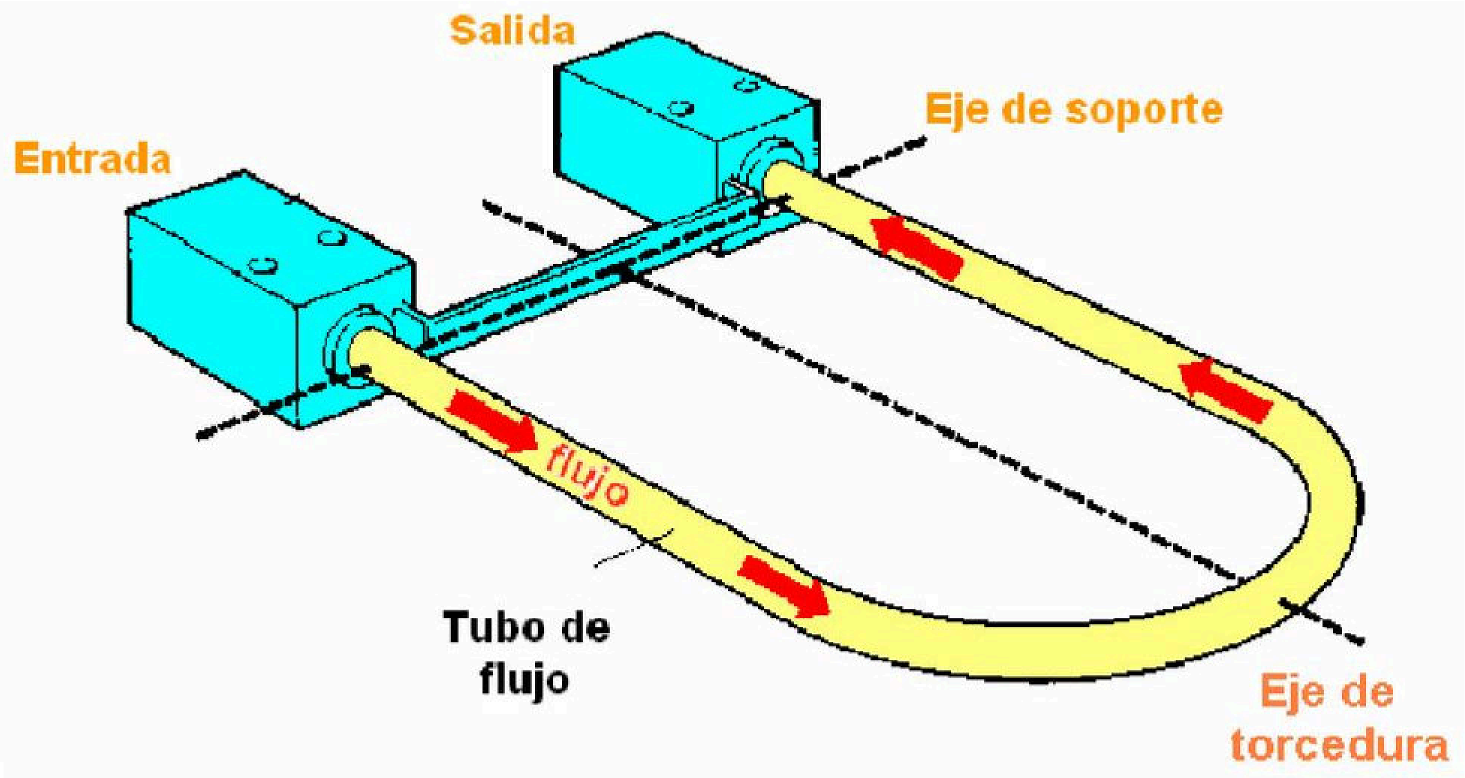
$$F= 2m\ \omega\ \nu$$

en el que los vectores F es la fuerza, w es su movimiento angular y v la velocidad; m es la masa a ser aplicada a un punto conocido a una distancia L, desde los ejes 0,0.

Esta ecuación es equivalente a la segunda ley de Newton F=ma, para movimiento rotacional

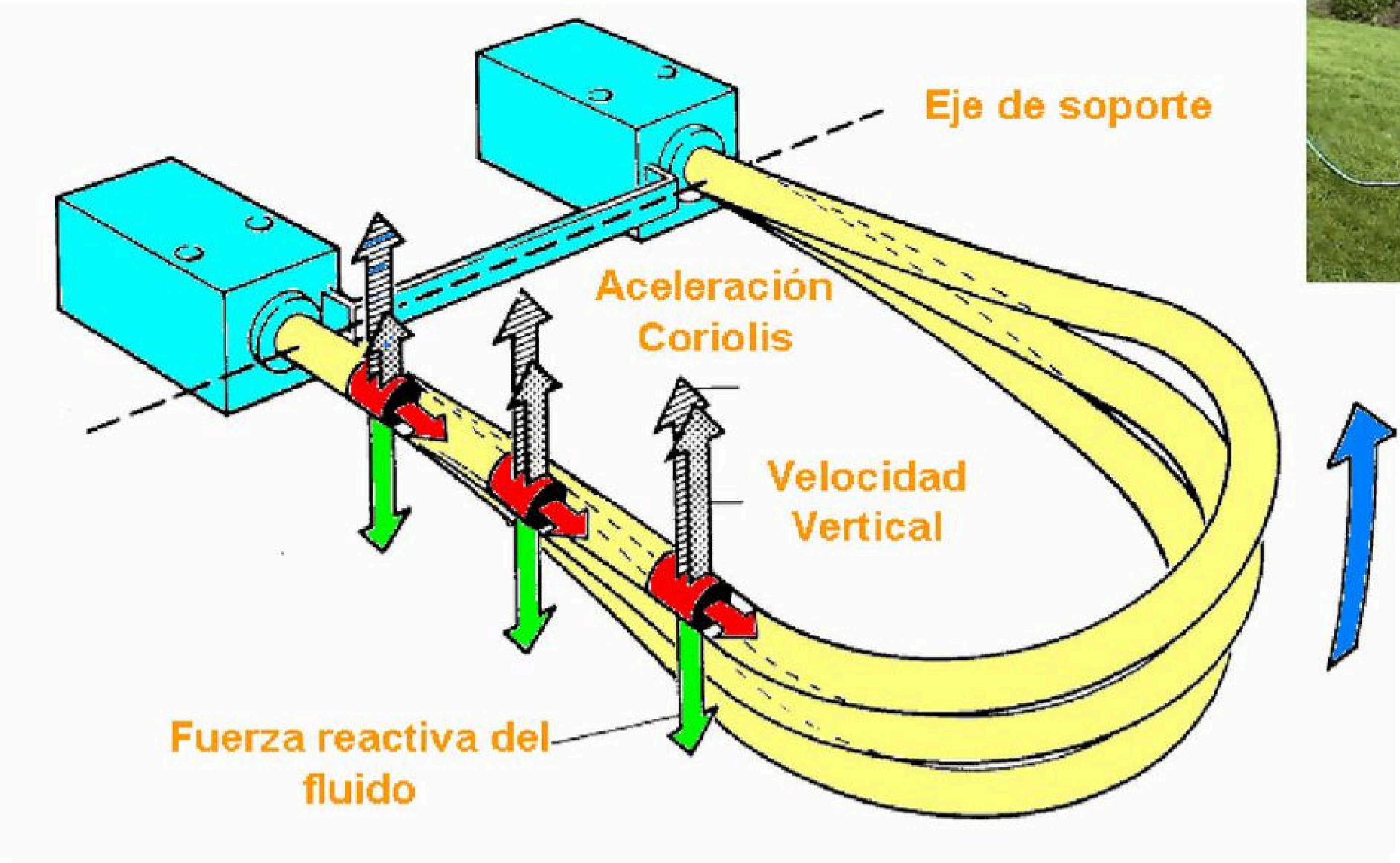
Principio de funcionamiento Coriolis

El medidor Coriolis opera bajo el principio básico de movimiento mecánico. El elemento sensor es un tubo vibrante en el cual se crea y se mide la aceleración Coriolis, soportado sobre un eje de soporte y un eje par.


Salida
Eje de soporte
Entrada
flujo
Tubo de
flujo
Eje de
torcedura

Principio de funcionamiento Coriolis

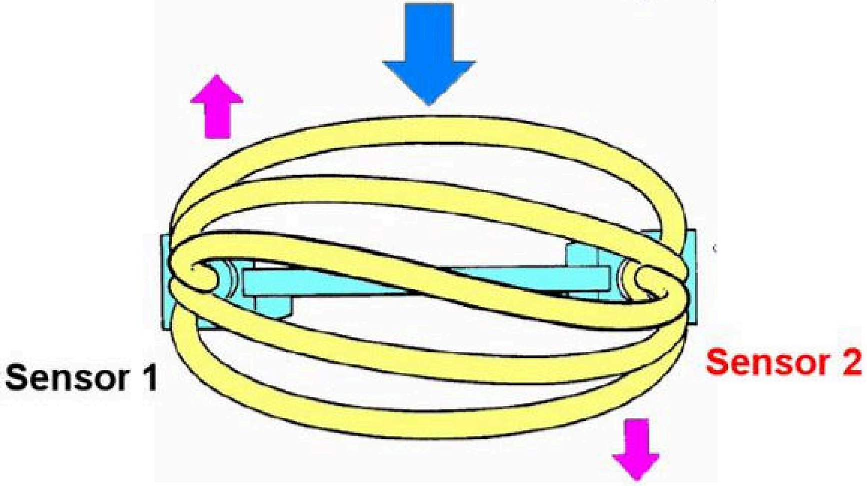
El fluido en movimiento pasa a través de un tubo de flujo vibrando, y forzando a tomar una aceleración conforme este se mueve hacia el punto del pico de amplitud de vibración. A la inversa, el fluido desacelera conforme se mueve lejos desde el punto pico de amplitud hasta que sale del tubo.

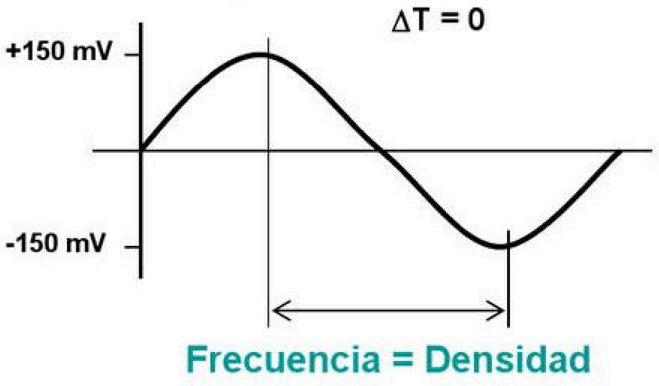

Eje de soporte
Aceleración Coriolis
Velocidad Vertical
Fuerza reactiva del fluido

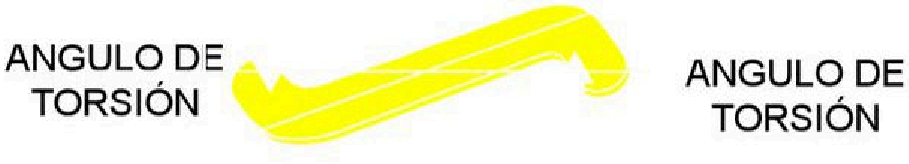
Fuerza Coriolis (Entrada)

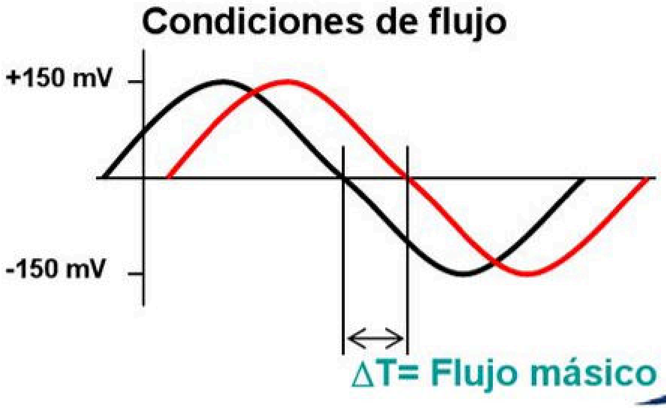
Principio de funcionamiento Coriolis

El resultado de fuerzas es una reacción en doble sentido del tubo del flujo durante las condiciones del flujo, mientras este atraviesa cada ciclo de vibraciones. La torsión es sensada por bobinas que miden la posición en cada lado del tubo de medición. El medidor Coriolis ha probado se uno de los medidores disponibles más exactos y si se un medidor “másico” donde no es necesaria una conversión, su rendimiento es incomparable.


Sensor 1
Sensor 2




ANGULO DE TORSIÓN
ANGULO DE TORSIÓN



Medidores de flujo másico tipo térmico

Los medidores de flujo másico tipo térmico son aplicados para la industria del petróleo, procesos químicos, tratamiento de agua, generación de electrodo de plantas nucleares, en la electrónica para la manufactura de circuitos integrados, etc. Se utiliza para la medición de líquidos y gases.

Este tipo de medidores depende de las variaciones de una o mas características térmicas de fluidos, como una función de flujo.
Existen dos tipos de estos medidores:

- Aquellos que miden la relación de pérdidas de calor a corriente de flujo y

- Los que miden la elevación de temperatura de la corriente de flujo

Medidores de flujo másico tipo térmico

Medidor de flujo másico de elevación de temperatura a corriente de flujo

Típicamente se mide la diferencia de temperatura a los cambios de flujo a través de un tubo calentado

$$W = H / (\Delta T^{*} C_p)$$

donde:

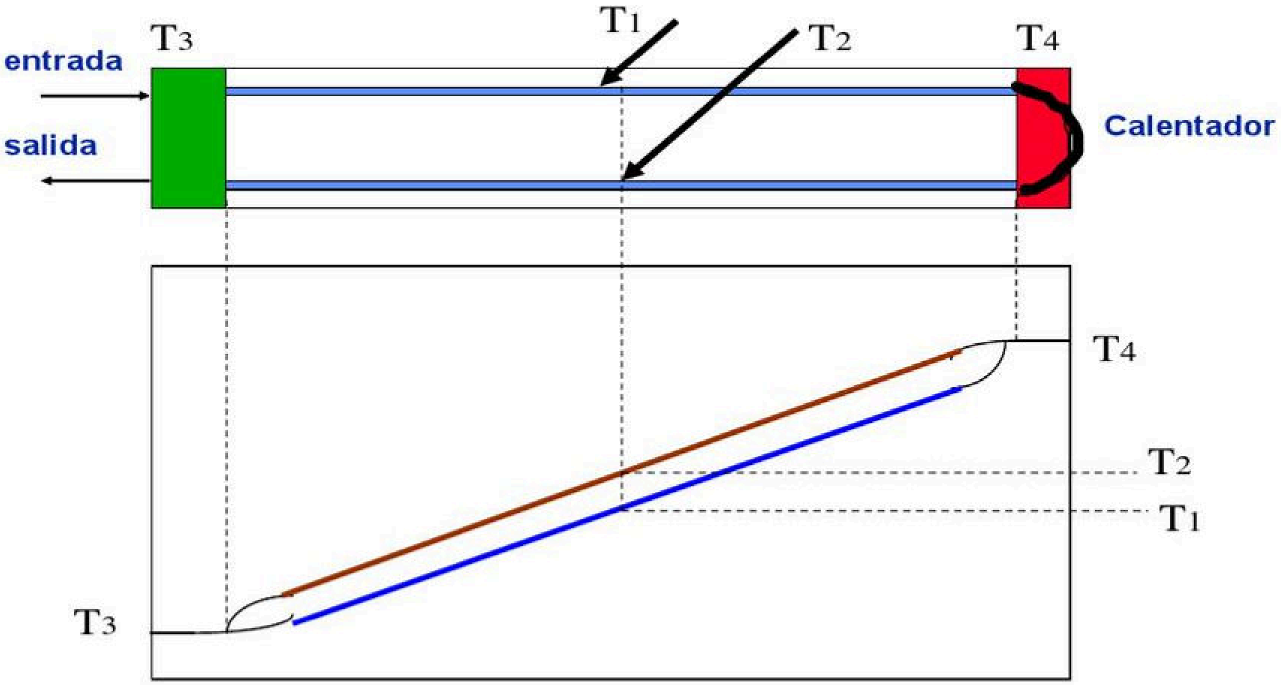
W = flujo másico.
H = entrada de calor(potencia).
ΔT = Cambio de temperatura.
C_p = Calor especifico a presión constante.

Thomas, inicialmente considero un gran tubo , con una malla calentada en el centro del tubo y termometros arriba y debajo de la malla, con mucho consumo de potencia

Medidores de flujo másico tipo térmico

Posteriormente Laub propuso un diseño en la que el calentador y los termómetros son situados sobre la superficie exterior del tubo.

El calor es transferido a través de la pared de la tubería y calentando solamente la capa delgada de gas próxima a la pared



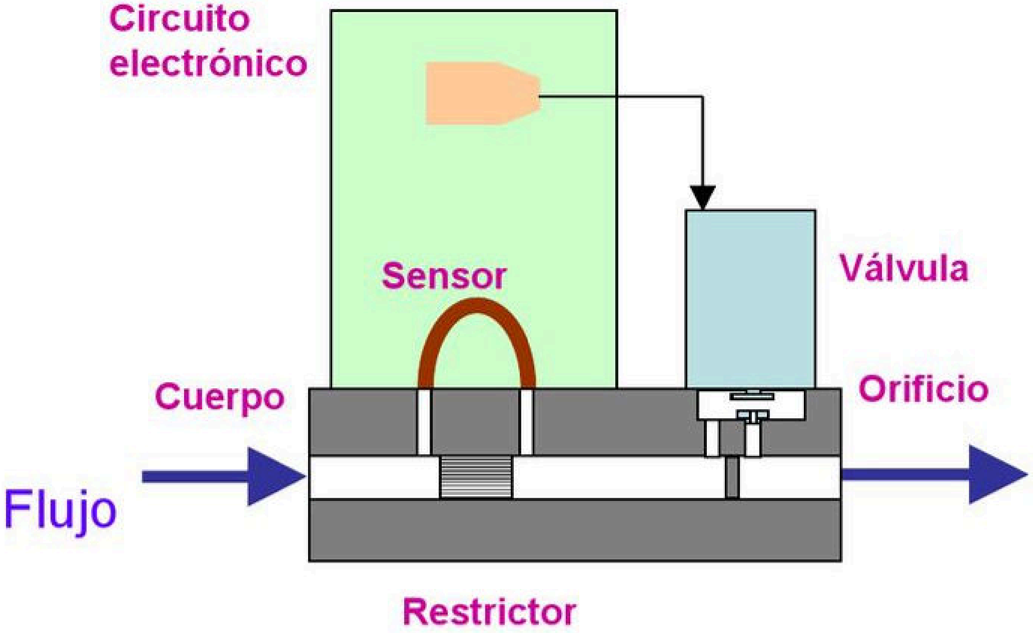
T3
T1
T2
T4
entrada
salida
Calentador
T4
T2
T1
T3

Componentes del MF másico térmico

Los componentes básicos de un controlador de flujo másico térmico son:

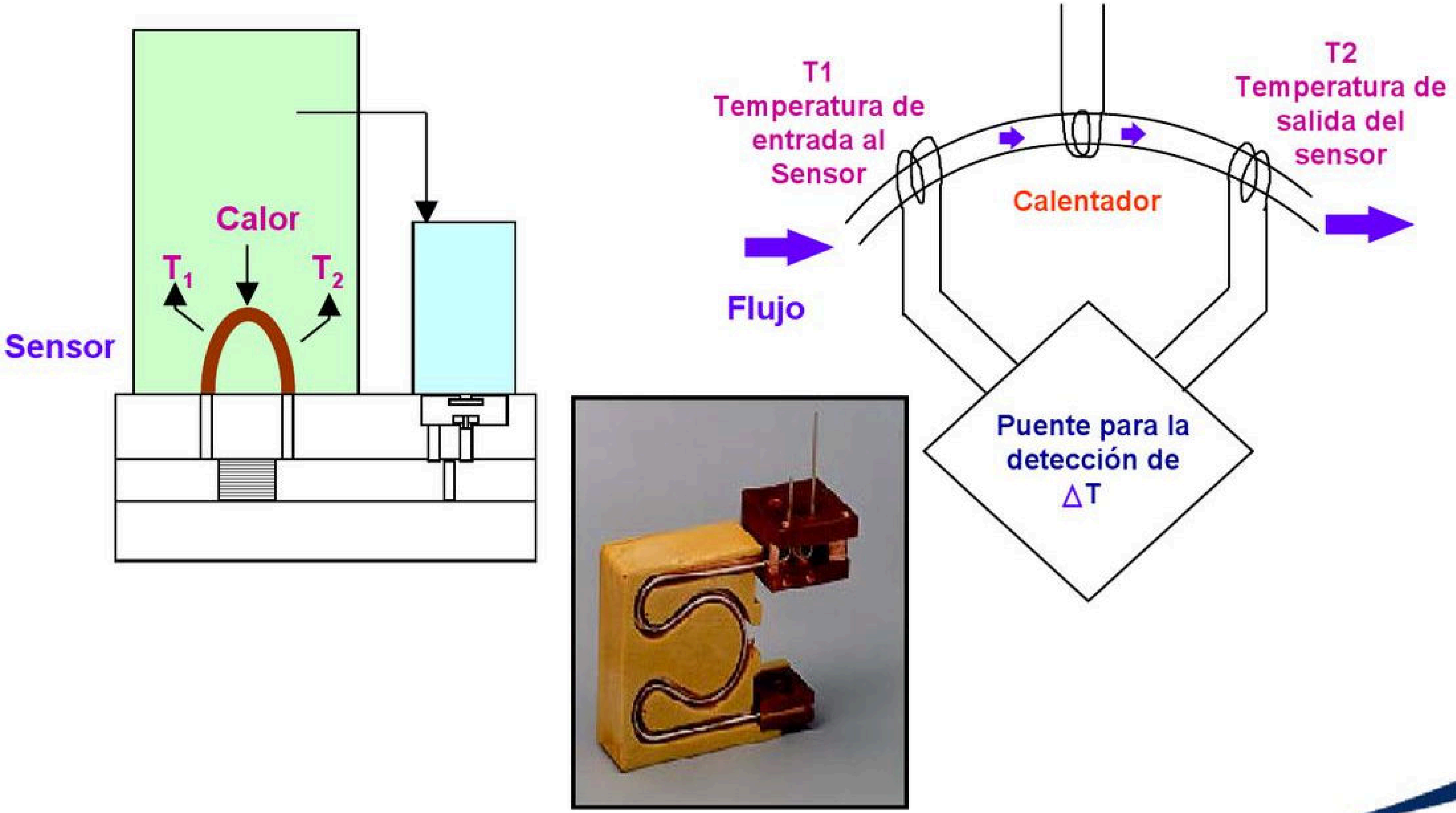
- a) Sensor
- b) Cuerpo/Restrictor
- c) Circuito electrónico
- d) Válvula/orificio

MASS FLOW CONTROLLER
5850
SERIES


Circuito electrónico
Sensor
Válvula
Cuerpo
Orificio
Flujo
Restrictor

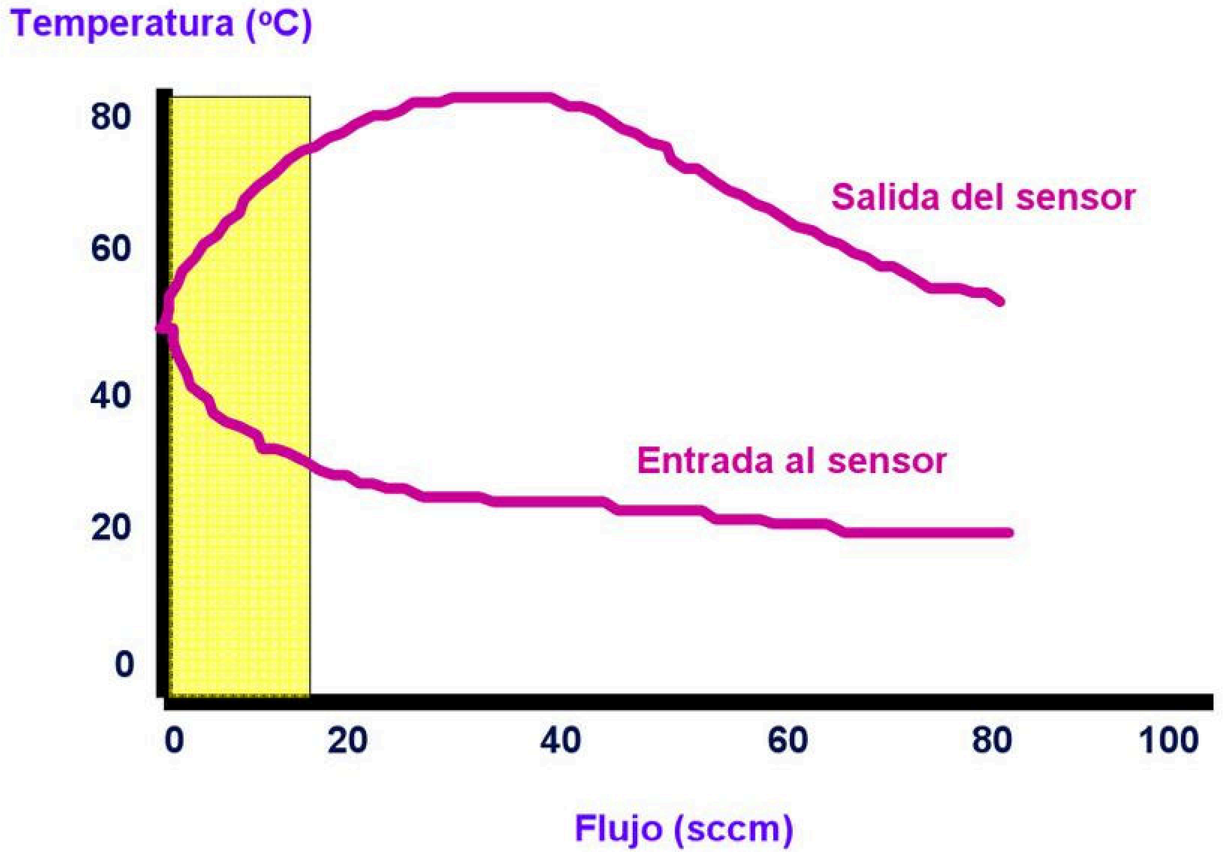
Funcionamiento del MF másico térmico

El elemento sensor, no es un medidor de flujo másico, ya que solo detecta la diferencia de temperatura debida al flujo y aprovecha esta medición para determinar el flujo másico


Calor
T_1
T_2
Sensor
T1
Temperatura de entrada al Sensor
T2
Temperatura de salida del sensor
Calentador
Flujo
Puente para la detección de ΔT

Funcionamiento del MF másico térmico

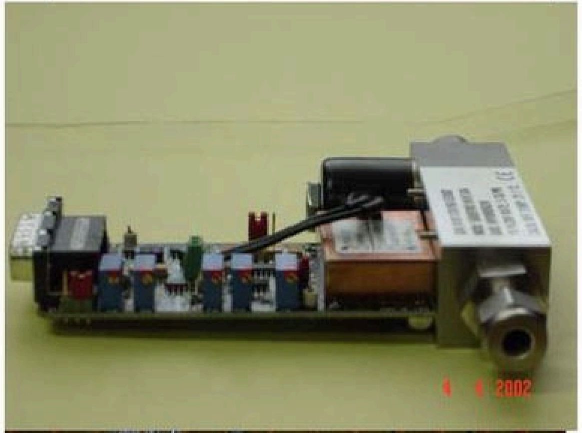
Las curvas de respuesta del medidor son las siguientes:



Características del MF másico térmico

- Medición y control de flujo másico.
- Principio de operación termodinámico mediante una diferencial de temperatura proporcional al flujo, sensada a través de un circuito puente.
- Precisión de +-1% E.T.
- Manejo de señales estándar.
- Control local y remoto.
- Fácil mantenimiento.
- Requiere una fuente de voltaje.
- Salida lineal.
- Requiere calibración para cada gas.
- Sensible por el uso de capilar.
- Suministro +- 15VCD
- Salida de 0-5 VCD

BROOKS
MASS FLOW CONTROLLER
5850TR
SERIES
FLOW
4 4 2002



BROOKS
5896
0-100%
-000
109

MF de desplazamiento positivo

Un medidor de desplazamiento positivo es aquel dispositivo que mide la cantidad de fluido que circula por un conducto, dividiendo el flujo en segmentos volumétricos conocidos, aísla el segmento momentáneamente, y lo regresara después a la corriente de flujo mientras tanto va contando el número de desplazamientos.

Un medidor de desplazamiento positivo puede ser dividido en tres componentes básicos:

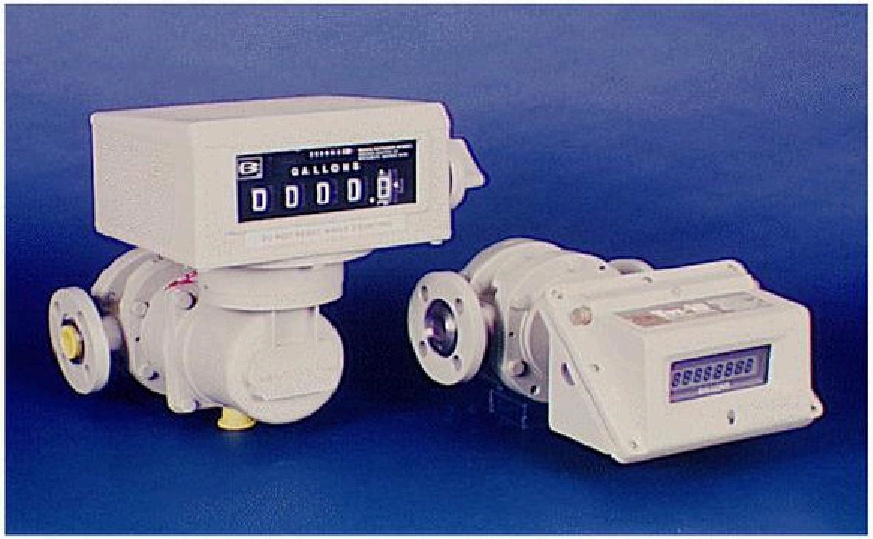
- La caja externa, que se encuentra llena de fluido
- El desplazador, que bajo la acción del fluido circulante, transfiere el fluido desde el final de una cámara a la siguiente, y
- El tren de accionamiento indicador o registrador para contar.

La caja externa es un recipiente a presión que contiene los productos a ser medidos y puede ser de construcción sencilla o doble, con la caja simple, teniendo la caja y las paredes de la cámara de medición como unidad integral. Con la construcción de doble caja, la caja externa es separada de la unidad de medición y sirve solo como un recipiente a presión.

Tipos de MF de desplazamiento positivo

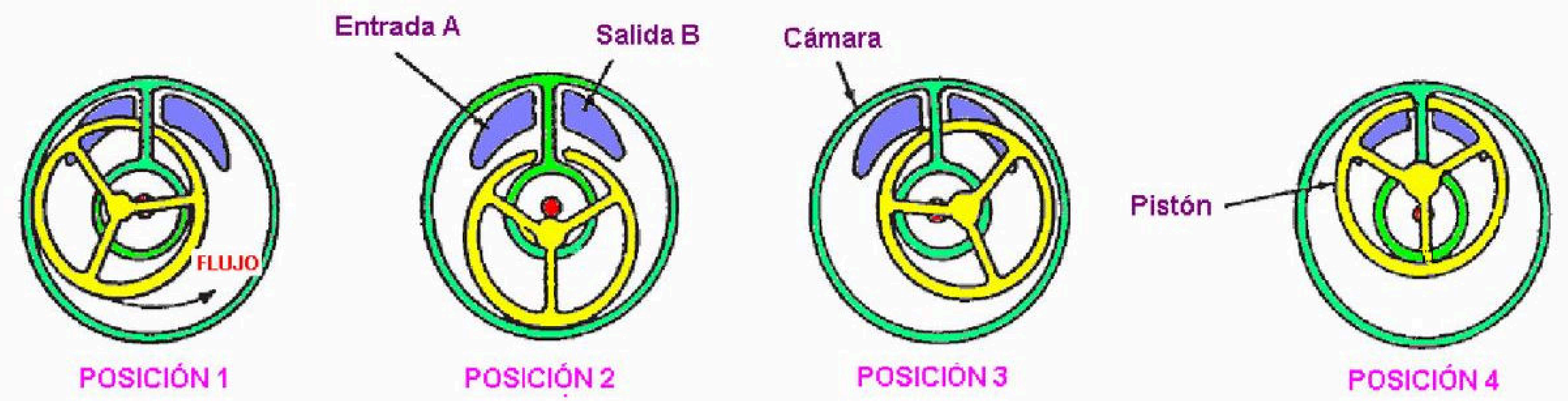
Dentro de los diferentes tipos de medidores de desplazamiento positivo para líquidos, se consideran los siguientes:

- Medidor tipo pistón oscilatorio
- Medidor de paletas deslizantes o veleta móvil
- Medidor de engranajes, que consideran los de rueda oval y los helicoidales



Medidor de Pistón oscilante

Este medidor consiste de un pistón hueco montado excéntricamente dentro de un cilindro. El cilindro y el pistón tienen la misma longitud, pero el pistón tien un diámetro mas pequeño. El pistón, cuando circula flujo, oscila alrededor de un puente divisor, que separa la entrada de la salida del líquido.


Entrada A
Salida B
Cámara
Pistón
FLUJO
POSICIÓN 1
POSICIÓN 2
POSICIÓN 3
POSICIÓN 4

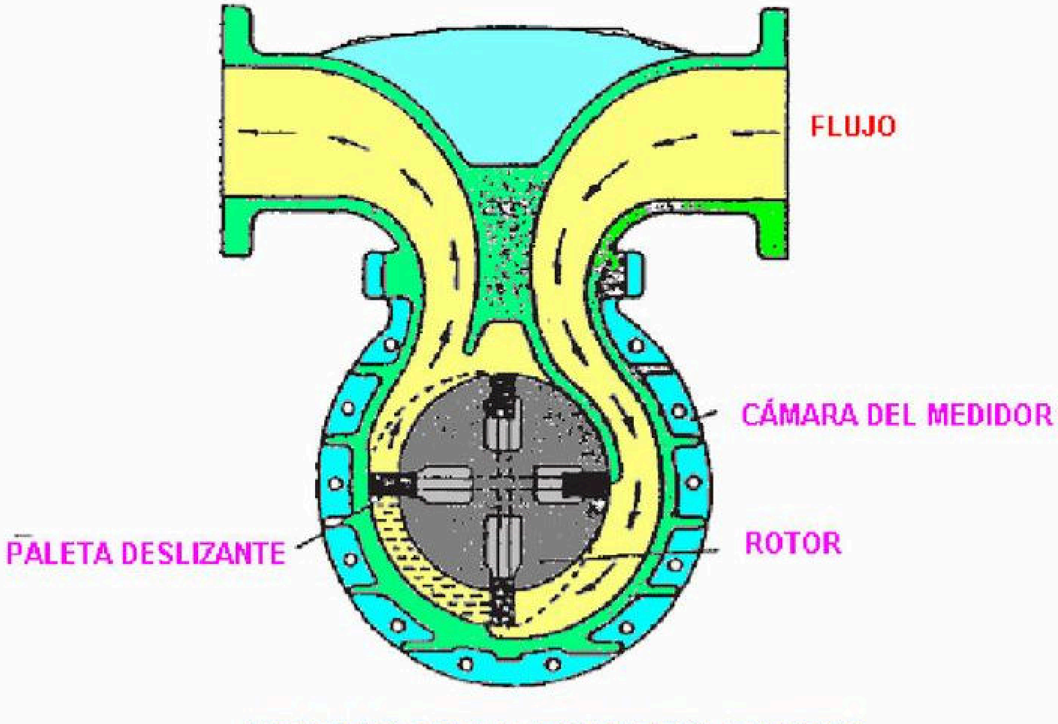
MEDIDOR DE PISTON OSCILANTE

Medidor de paletas deslizantes

Consta de un rotor con unas paletas, dispuesta en parejas opuestas, que se pueden deslizar libremente hacia adentro y hacia fuera de su alojamiento. Los miembros de las paletas opuestas se conectan rígidamente mediante varillas, y el fluido circulando actúa sobre las paletas sucesivamente, provocando el giro del rotor.

Mediante la rotación, el líquido se transfiere de la entrada a la salida, a través del espacio entre las paletas y mediante el conteo de revoluciones, se determina la cantidad de flujo que ha pasado

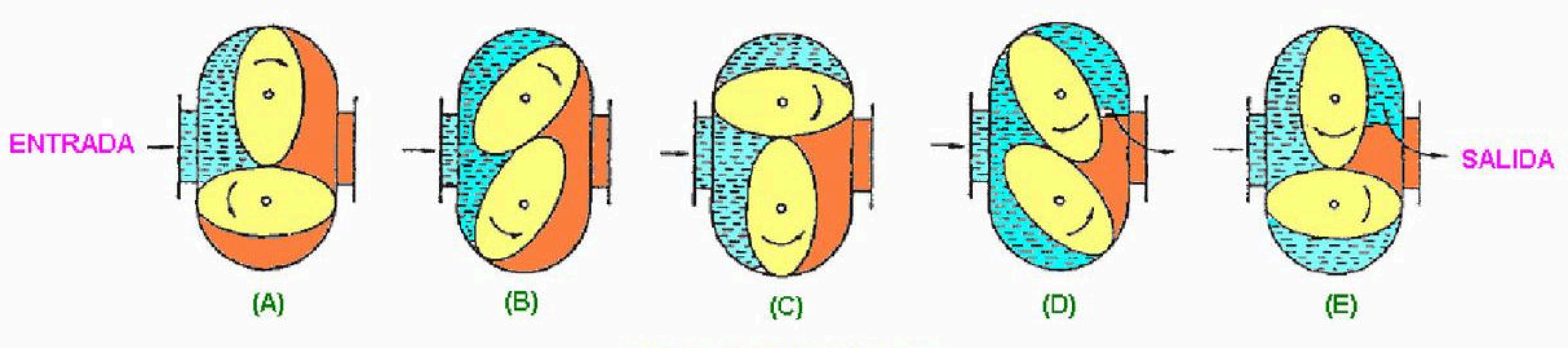
Se utilizan para medir líquidos de elevados costos, siendo instalados generalmente en camiones cisterna para la distribución de combustible y es ampliamente usado cuando se requiere exactitud.



MEDIDOR DE PALETAS DESLIZANTES

Medidor de engranes de rueda oval

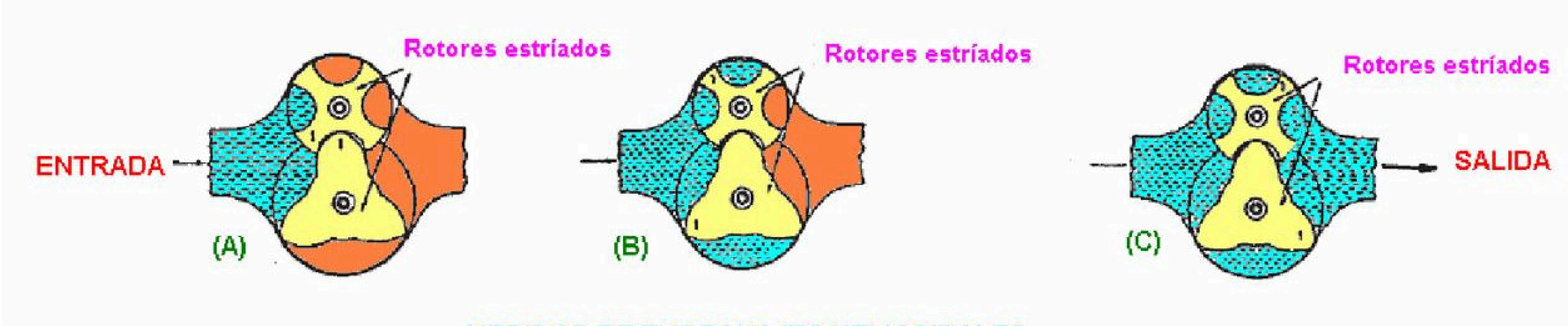
Este medidor consta de dos ruedas ovales que engranan entre si y tienen un movimiento de giro debido a la presión diferencial creada por el flujo de líquido. La acción del líquido actúa de forma alterna sobre cada una de las ruedas dando lugar a un giro suave de un par prácticamente constante y preciso, para reducir el rozamiento.



MEDIDOR DE RUEDA OVAL

Medidor de engranes tipo helicoidal

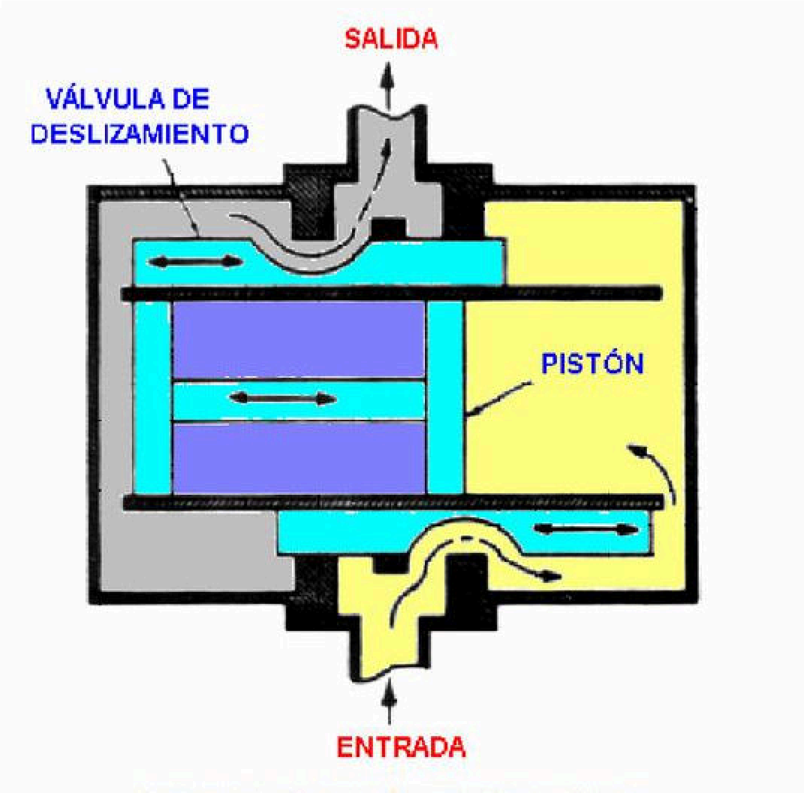
Funciona de manera similar al anterior y su principal ventaja de ambos es que su medición es independiente prácticamente de las variaciones de densidad y de la viscosidad del líquido.


Rotores estríados
Rotores estríados
Rotores estríados
ENTRADA
SALIDA
(A)
(B)
(C)

MEDIDOR DE ENGRANAJES HELICOIDALES

Medidor tipo pistón oscilante

Funciona en base al movimiento de un pistón a través de una válvula de deslizamiento.


SALIDA
VÁLVULA DE DESLIZAMIENTO
PISTÓN
ENTRADA

MEDIDOR DE PISTÓN RECIPROCANTE

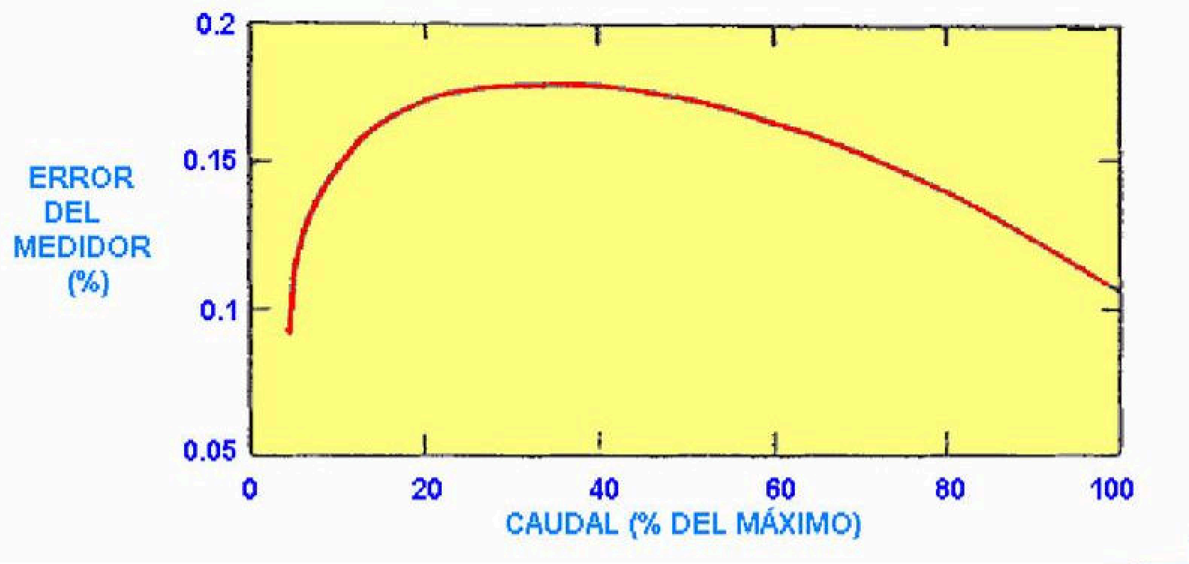
Estos son utilizados para agua doméstica y tiene capacidad para manejar fluidos limpios, viscosos y corrosivos. La exactitud es de ± 1.0% y en algunos rangos su mejor exactitud es de ± 0.2%.

Característica de comportamiento del MF de desplazamiento positivo

Los medidores de desplazamiento positivo presentan resistencia a la fricción, la cual tiene que ser vencida por el fluido circulante. Para flujos bajos, el flujo no tiene energía cinética suficiente para hacer girar el rotor y la resistencia del mecanismo, por lo que el fluido se desliza lentamente entre los componentes y el error es grande.

Sin embargo, cuando el flujo aumenta, el error disminuye ya que la energía cinética aumenta con el cuadrado de la velocidad hasta alcanzar el equilibrio.

$$E = \frac{Q_{Indicado} - Q_{real}}{Q_{real}} 100\%$$



Ventajas y limitaciones de los MF tipo desplazamiento positivo

VENTAJAS	LIMITACIONES
Buena exactitud y rangeabilidad	Componentes móviles sujetos a desgaste
Muy buena repetibilidad	Mantenimiento requerido regularmente
Adecuados para fluidos de alta viscosidad	Inconveniente para líquidos sucios, no lubricantes o abrasivos
Pueden absorver grandes cambios de viscosidad	Caros, particularmente para grandes diámetros
Lectura local con opción a transmisión por pulsos	Largos y voluminosos para grandes diámetros
Lectura directa en unidades volumétricas	Limitada disponibilidad de tamaños
No requiere suministro eléctrico ni fuente de alimentación	Refacciones costosas
Exactitud virtualmente insensible a las condiciones corriente arriba de la tubería.	Instalación díficil
Alta resolución	Alta pérdida en la diferencial
Amplio rango de flujo	Resultan dañados con las sobrevelocidades

Medidor de flujo tipo target

Cuando el flujo pasa un obstáculo en la tubería, con fuerza, comúnmente referida como arrastre, está generalizado un empuje o arrastre del obstáculo en la dirección del flujo. Semejante a un obstáculo no soportado a la izquierda puede ser llevado fuera con el fluido. Si de otra manera el obstáculo fuera restringido por una fuerza igual y opuesta al arrastre, la magnitud de la fuerza puede ser usada para determinar la relación del flujo.

Hay dos contribuyentes primarios para el arrastre:

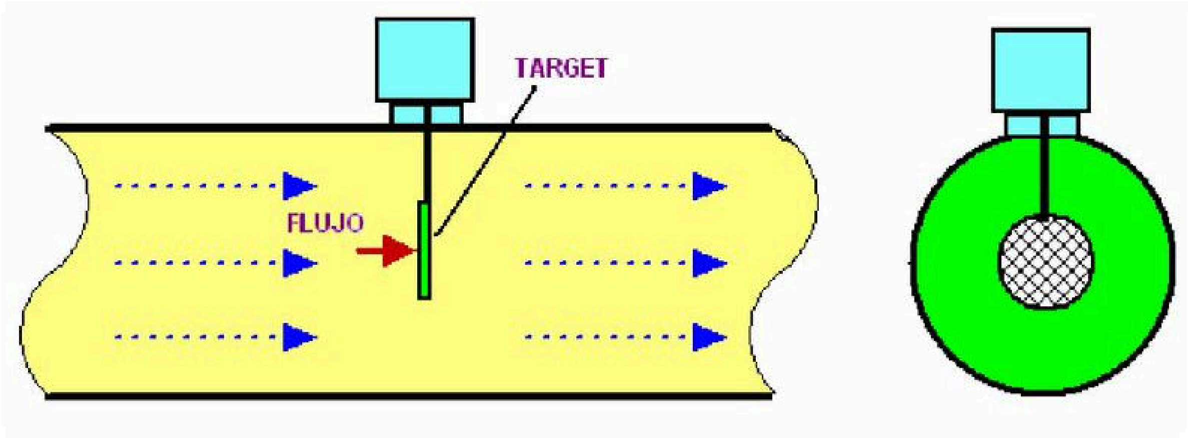
-La fuerza generada por la viscosidad del fluido conforme se desliza por el obstáculo, llamado fricción de arrastre, y tiene su principal influencia cuando el medidor de flujo está operando en el régimen de flujo laminar.

- La fuerza resultante de la diferencia entre la presión inmediatamente corriente arriba e inmediatamente corriente abajo del obstáculo, llamada presión de arrastre. Para flujos turbulentos, la presión de arrastre es el primer contribuyente al arrastre total sobre el obstáculo.

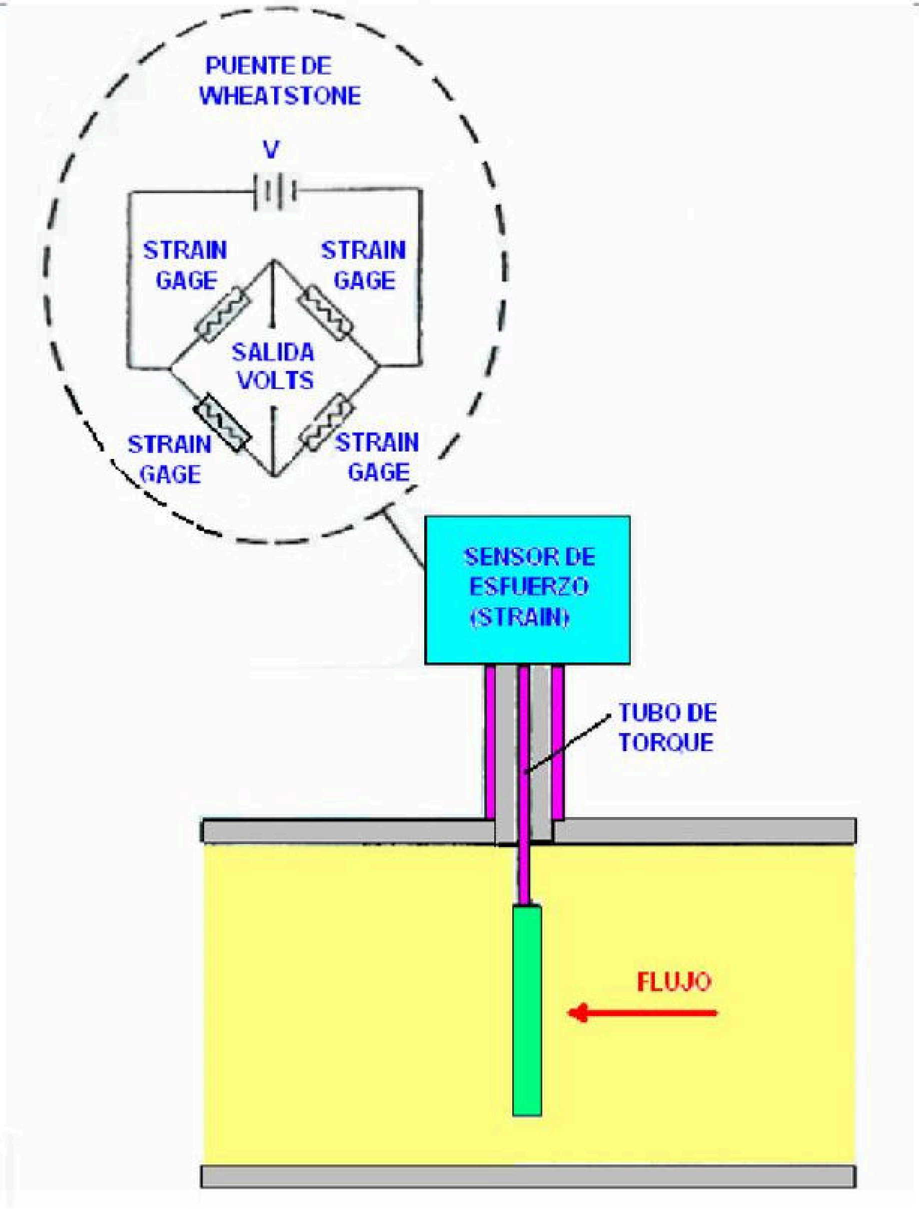
Principio de operación del MF tipo target

En el medidor tipo Target, un target (paleta o disco circular) física es montado concéntricamente en la tubería y localizada directamente en el flujo del fluido.

La deflexión del target y la fuerza en la barra es medida por el instrumento.



Medidor de flujo tipo target


PUENTE DE WHEATSTONE
V
STRAIN GAGE
STRAIN GAGE
SALIDA VOLTS
STRAIN GAGE
STRAIN GAGE
SENSOR DE ESFUERZO (STRAIN)
TUBO DE TORQUE
FLUJO

Características del MF tipo target

Su mejor campo de aplicación se halla en la medición de flujo en fluidos líquidos, gases, vapores, sucios, lodos diluidos (slurries), fluidos de alta viscosidad, corrosivos o con sólidos en suspensión, particularmente donde las características del fluido excluye el uso de medidores con tomas de presión o partes en movimiento.

La versatilidad y el bajo costo de instalación hace que el medidor de flujo tipo Target un candidato a muchas aplicaciones díficiles de medición de flujo.

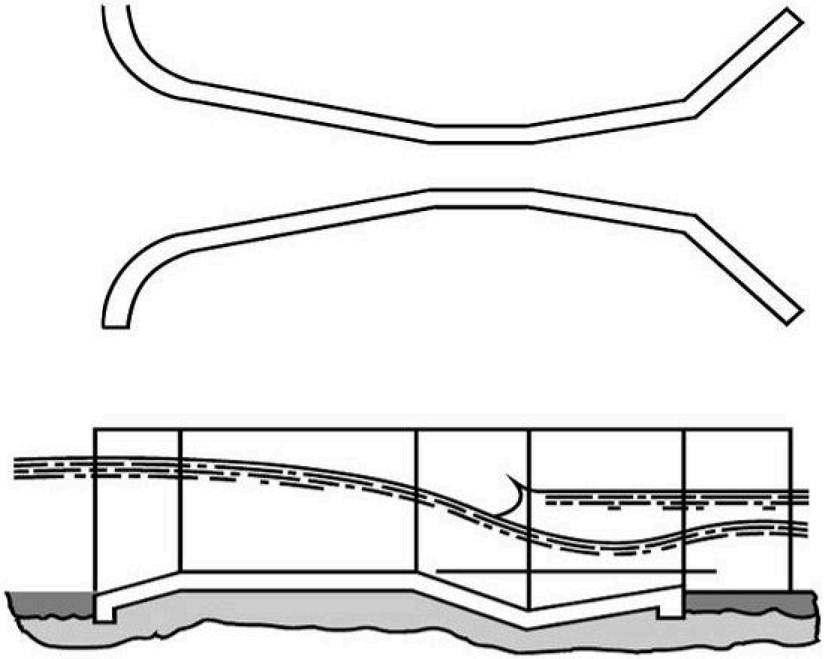
El tamaño del orificio total, en medidores en línea, puede ser instalado en cualquier tamaño. El tubo target esta disponible desde ½" hasta 6". La versión inserción para tamaños de línea grande esta también disponible.

El tipo de montaje limita el rango de presión. El tipo strain gage se utiliza en tres rangos de presión: 1000, 5000 y 10,000 PSIG y también en tres rangos de temperatura: -65° a +425° F, -65° a +500° F, y -320° a +250° F.

Medidor tipo Canal Parshall

Este medidor de canal abierto consiste de tres secciones: una sección de garganta y una sección divergente. El caudal a través del canal es una función del incremento de velocidad y del nivel del líquido a través del canal. El canal Parshall es uno de los tipos más comúnmente utilizados medidores de canal abierto.

Debe mantenerse limpio, los sólidos grandes pueden bloquear el fondo del canal provocando error en la medición.



Lista de factores de selección del medidor de flujo

1. ¿Es la medición másica o volumétrica?
2. ¿Es requerida velocidad de flujo o totalización?
3. ¿Qué señal es requerida?
4. ¿Qué desplegado es necesario?
5. ¿Es el fluido corrosivo o pasivo?
6. ¿Cuales son las restricciones ambientales?
7. ¿Es el fluido limpio o sucio?
8. ¿Qué tipo de suministro eléctrico se requiere?
9. ¿Cuál es el rango requerido, relación de flujo máximo a flujo mínimo?
10. ¿Qué funcionalidad (exactitud) es necesaria?
11. ¿Cual es el costo? (costo del hardware y/o costo total de permiso de licencia)
12. ¿Qué mantenimiento es requerido y quien lo va a hacer?
13. ¿Cuáles son la temperatura y presión de operación?
14. ¿Cuál es la caída de presión permisible, es decir, que consumo de energía tiene?
15. ¿Qué propiedades de flujo deben ser consideradas’ (viscosidad, densidad, compresibilidad, conductividad eléctrica, calidad de lubricación, etc.)

Selección de medidores de flujo

Otra clasificación puede ser dada por el tipo de fase que manejan. Existen aplicaciones donde el gas esta entrampado en el líquido y donde la fase líquida es llevada junto con la fase gaseosa. Los medidores volumétricos manejan líquidos con gas entrampado y pueden generar un error en % volumen del gas presente.

LÍQUIDO	GAS	VAPOR	LODOS
AREA VARIABLE	AREA VARIABLE	AREA VARIABLE	MAGNÉTICO
PRESIÓN DIF. VARIABLE	PRESIÓN DIF. VARIABLE	PRESIÓN DIF. VARIABLE	CORIOLIS
DESPLAZAMIENTO POSITIVO	DESPLAZAMIENTO POSITIVO	TURBINA	ULTRASÓNICO (DOPPLER)
TURBINA	TURBINA	OSCILATORIO	PRESIÓN DIF. VARIABLE (EXCENTRICO, SEGMENTAL, VENTURI)
MAGNÉTICO	TÉRMICO		
ULTRASÓNICO	OSCILATORIO		
TÉRMICO	CORIOLIS		
OSCILATORIO			
CORIOLIS			

Los MF en la transferencia de custodia

Transferencia de custodia (Custody Transfer)

Definición :

El proceso simultaneo de intercambio de derechos legales de propiedad (ownersip) de una determinada cantidad de fluido, como por ejemplo un producto refinado del petróleo, mientras se ejecuta el movimiento físico del fluido del contenedor del propietario al contenedor de diferente propietario.

Los MF en la transferencia de custodia

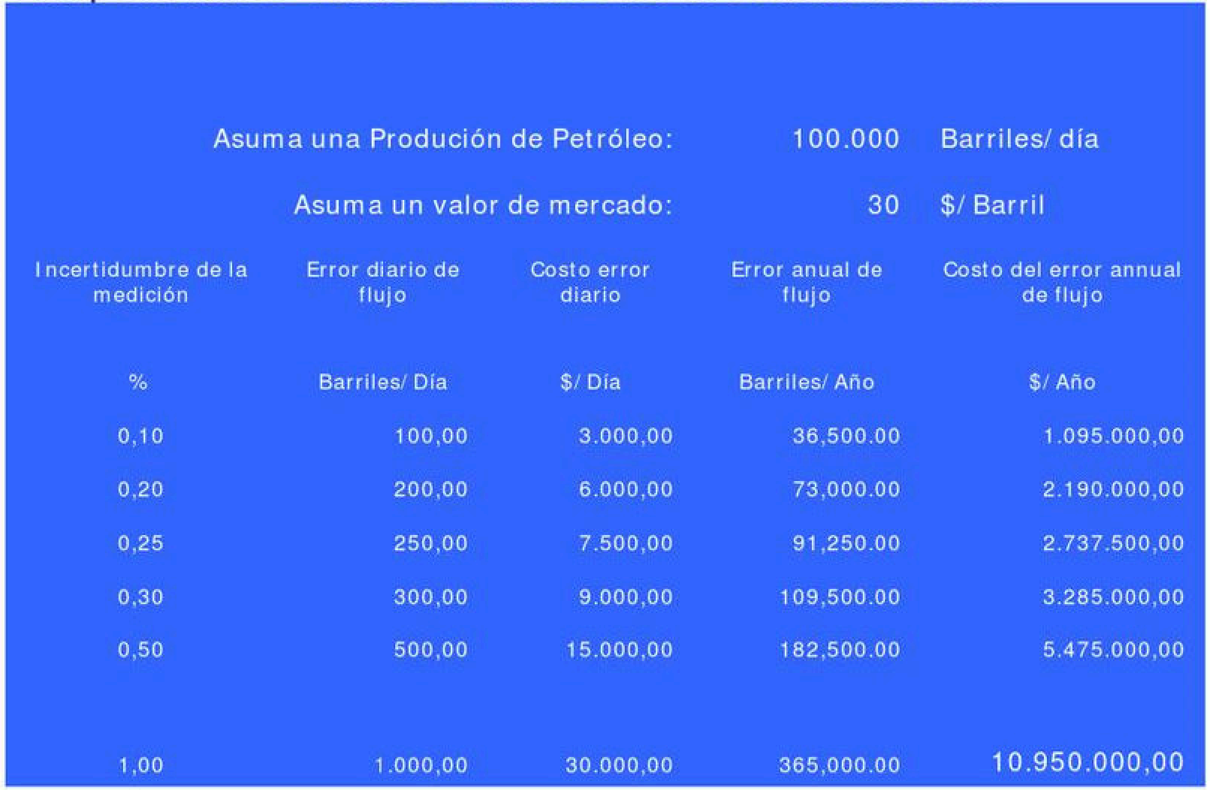
Existen medidores de flujo especiales para transferencia de custodia, pero no basta con contar con este tipo de sistemas de medición para transferencia de custodia ya que también estos sistemas requieren de otros dispositivos para que sean calibrados y certificados de manera regular y acreditados ante una entidad legalmente autorizada como laboratorios de segundo orden.

La entidad que calibra, debe entregar los cerificados de calibración, donde indique la incertidumbre encontrada y la carta de trazabilidad.

ema® entidad mexicana de acreditación a.c.

La incertidumbre

En cada medición existe una incertidumbre y es importante conocerla, ya que en transferencia de custodia y en medición fiscal tiene implicaciones económicas importantes como se muestra a continuación:



Asuma una Produción de Petróleo: 100.000 Barriles/ día

Asuma un valor de mercado: 30 $/ Barril

Incertidumbre de la medición	Error diario de flujo	Costo error diario	Error anual de flujo	Costo del error annual de flujo
%	Barriles/ Día	$/ Día	Barriles/ Año	$/ Año
0,10	100,00	3.000,00	36,500.00	1.095.000,00
0,20	200,00	6.000,00	73,000.00	2.190.000,00
0,25	250,00	7.500,00	91,250.00	2.737.500,00
0,30	300,00	9.000,00	109,500.00	3.285.000,00
0,50	500,00	15.000,00	182,500.00	5.475.000,00
1,00	1.000,00	30.000,00	365,000.00	10.950.000,00

COSTO DE LA INCERTIUMBRE EN LA INDUSTRIA PETROLERA

Fuente: METCO

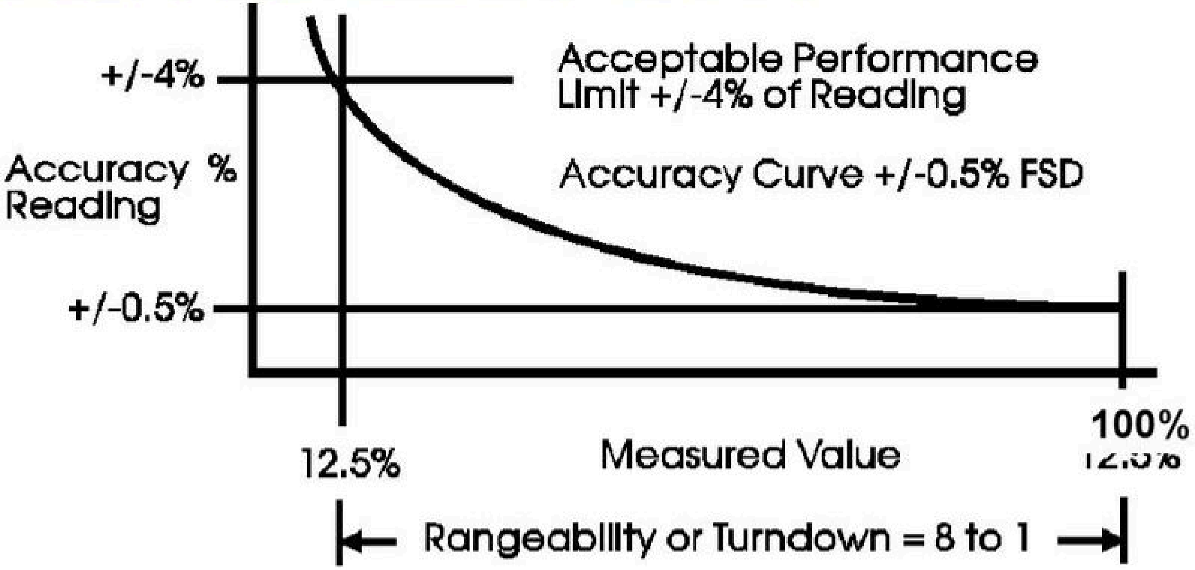
Rangeabilidad

La rangeabilidad de un instrumento se definen como la relación del máximo al mínimo valor en el que el instrumento tiene una actuación aceptable.

Se tiene un ejemplo de un instrumento que tiene una exactitud especificada de ±0.5%. Si el límite en la actuación aceptable es entonces ±4% de lectura, la rangeabilidad del instrumento se limita a 8 a 1 (es decir ±4% de exactitud de lectura ocurre a 12.5%).

Sin embargo si una exactitud de ±5% de lectura fuera aceptable, se aumentaría la rangeabilidad del instrumento a 10 a 1.

Debe recordarse que el impacto de variables independientes también puede afectar en serio la linearidad y la rangeabilidad de un instrumento.


+/-4%
Acceptable Performance Limit +/-4% of Reading
Accuracy % Reading
Accuracy Curve +/-0.5% FSD
+/-0.5%
100%
12.5%
Measured Value
Rangeability or Turndown = 8 to 1